



Acerca de este libro

Esta es una copia digital de un libro que, durante generaciones, se ha conservado en las estanterías de una biblioteca, hasta que Google ha decidido escanearlo como parte de un proyecto que pretende que sea posible descubrir en línea libros de todo el mundo.

Ha sobrevivido tantos años como para que los derechos de autor hayan expirado y el libro pase a ser de dominio público. El que un libro sea de dominio público significa que nunca ha estado protegido por derechos de autor, o bien que el período legal de estos derechos ya ha expirado. Es posible que una misma obra sea de dominio público en unos países y, sin embargo, no lo sea en otros. Los libros de dominio público son nuestras puertas hacia el pasado, suponen un patrimonio histórico, cultural y de conocimientos que, a menudo, resulta difícil de descubrir.

Todas las anotaciones, marcas y otras señales en los márgenes que estén presentes en el volumen original aparecerán también en este archivo como testimonio del largo viaje que el libro ha recorrido desde el editor hasta la biblioteca y, finalmente, hasta usted.

Normas de uso

Google se enorgullece de poder colaborar con distintas bibliotecas para digitalizar los materiales de dominio público a fin de hacerlos accesibles a todo el mundo. Los libros de dominio público son patrimonio de todos, nosotros somos sus humildes guardianes. No obstante, se trata de un trabajo caro. Por este motivo, y para poder ofrecer este recurso, hemos tomado medidas para evitar que se produzca un abuso por parte de terceros con fines comerciales, y hemos incluido restricciones técnicas sobre las solicitudes automatizadas.

Asimismo, le pedimos que:

- + *Haga un uso exclusivamente no comercial de estos archivos* Hemos diseñado la Búsqueda de libros de Google para el uso de particulares; como tal, le pedimos que utilice estos archivos con fines personales, y no comerciales.
- + *No envíe solicitudes automatizadas* Por favor, no envíe solicitudes automatizadas de ningún tipo al sistema de Google. Si está llevando a cabo una investigación sobre traducción automática, reconocimiento óptico de caracteres u otros campos para los que resulte útil disfrutar de acceso a una gran cantidad de texto, por favor, envíenos un mensaje. Fomentamos el uso de materiales de dominio público con estos propósitos y seguro que podremos ayudarle.
- + *Conserve la atribución* La filigrana de Google que verá en todos los archivos es fundamental para informar a los usuarios sobre este proyecto y ayudarles a encontrar materiales adicionales en la Búsqueda de libros de Google. Por favor, no la elimine.
- + *Manténgase siempre dentro de la legalidad* Sea cual sea el uso que haga de estos materiales, recuerde que es responsable de asegurarse de que todo lo que hace es legal. No dé por sentado que, por el hecho de que una obra se considere de dominio público para los usuarios de los Estados Unidos, lo será también para los usuarios de otros países. La legislación sobre derechos de autor varía de un país a otro, y no podemos facilitar información sobre si está permitido un uso específico de algún libro. Por favor, no suponga que la aparición de un libro en nuestro programa significa que se puede utilizar de igual manera en todo el mundo. La responsabilidad ante la infracción de los derechos de autor puede ser muy grave.

Acerca de la Búsqueda de libros de Google

El objetivo de Google consiste en organizar información procedente de todo el mundo y hacerla accesible y útil de forma universal. El programa de Búsqueda de libros de Google ayuda a los lectores a descubrir los libros de todo el mundo a la vez que ayuda a autores y editores a llegar a nuevas audiencias. Podrá realizar búsquedas en el texto completo de este libro en la web, en la página <http://books.google.com>



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

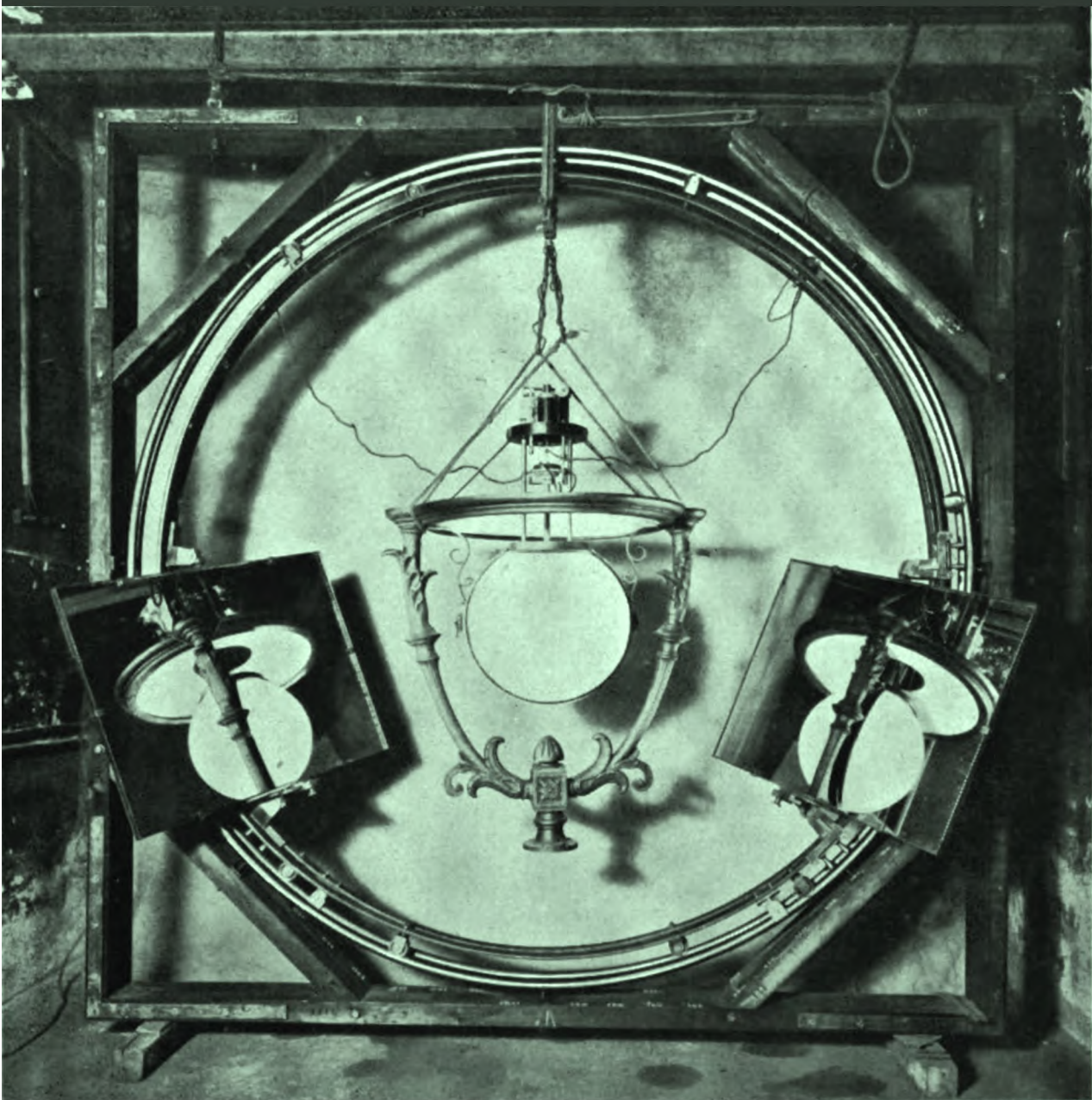
Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>



Bulletin de la Société internationale des électriciens

Société internationale des électriciens

Sci 1480.158

KG 539

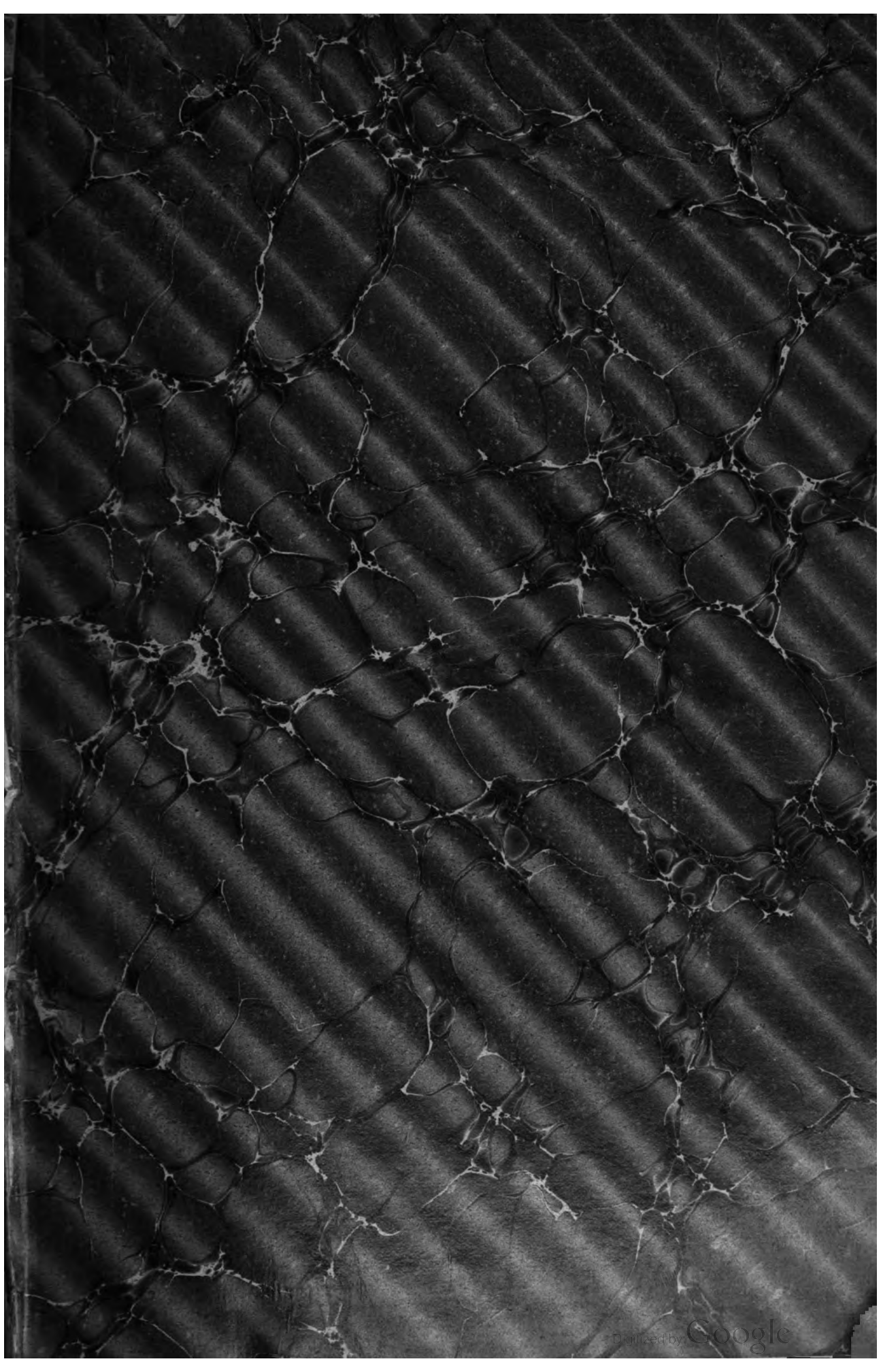
Harvard University



LIBRARY OF THE
DIVISION OF
ENGINEERING

JUL 1 1909

TRANSFERRED
TO
HARVARD COLLEGE
LIBRARY



TOME IV. (2^e SÉRIE.) N^o 31.

JANVIER 1904.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

Société reconnue d'utilité publique par décret en date du 7 décembre 1888.

SIÈGE SOCIAL :
12 ET 14, RUE DE STAEL,
PARIS.



LABORATOIRE :
12 ET 14, RUE DE STAEL,
PARIS.

PRIX DE L'ABONNEMENT POUR UN AN (à partir de janvier) :

PARIS..... 25 FR. | DÉPARTEMENTS ET UNION POSTALE .. 27 FR.

Prix du Numéro : 2 fr. 50 c.

On s'abonne sans frais dans tous les Bureaux de poste.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1904

Ce Recueil paraît chaque mois.

La reproduction des Mémoires publiés dans le BULLETIN est subordonnée à l'autorisation du Comité et à l'assentiment des Auteurs.
Les demandes de tirages à part doivent être faites en déposant les manuscrits.

Diplôme d'honneur, Exposition intern^{le} d'Electricité, Paris 1884. Hors concours, membre du Jury à l'Exposition intern^{le} de 1889.

MAISON BREGUET

Fondée en 1783. — Société anonyme au capital de 4.000.000 de francs
PARIS. — 19, rue Didot. — PARIS.

APPLICATIONS GÉNÉRALES DE L'ÉLECTRICITÉ

Courant continu. — Courants alternatifs.

DYNAMOS A COURANT CONTINU DE TOUTES PUISSANCES

ALTERNATEURS & TRANSFORMATEURS

à courant alternatif simple et à courants polyphasés pour éclairage et transmission de force.

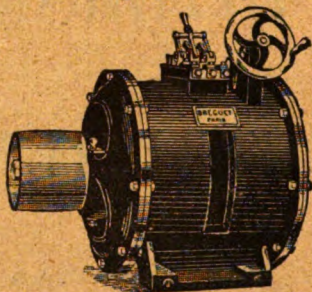
MOTEURS ASYNCHRONES

Système Boucherot

Ni collecteur

Ni balais

Ni accessoires
de démarrage.



A COURANTS POLYPHASÉS

Breveté S. G. D. G.

Démarrage direct en charge.

Le courant de démarrage

est proportionnel

au couple moteur développé.

Constructeur exclusif des Turbines à vapeur, système de Laval, de 5 à 300 chevaux

(Brevet de la Société de Laval)

Turbines dynamos. — Turbines motrices. — Turbines pompes. — Turbines ventilateurs.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES NAVIRES

Projecteur à miroir parabolique, breveté S. G. D. G. — Lampe mixte horizontale, brevetée S. G. D. G.

APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES. — APPAREILS TÉLÉPHONIQUES.

STATIONS CENTRALES

LIGNES A HAUTE TENSION

PONTS ROULANTS

Sté " L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE "

Société anonyme au capital de 4.000.000

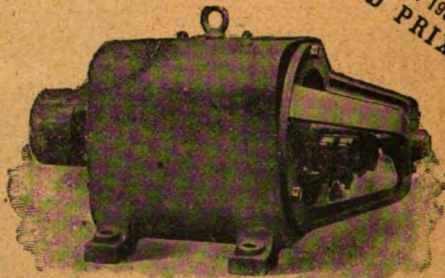
SIÈGE SOCIAL : PARIS. ATELIERS :

27, rue de Rome.

364, rue Lecourbe

MATÉRIEL E. LABOUR

Adresse télégraphique : LECLIQUE-PARIS. — Téléphone : 528,50.



Dynamo à courant continu.

ATELIERS RUHMKORFF

J. CARPENTIER

Ingénieur-Constructeur

PARIS. — 20, rue Delambre. — PARIS.

APPAREILS DE MESURES ÉLECTRIQUES

Ohmmètre pour la mesure des isolements. — Wattmètres pour la vérification des compteurs.
— Pyromètre électrique de M. Le Chatelier. — Installation pour la vérification des ampèremètres et voltmètres. — Appareil pour la mesure rapide des faibles résistances. — Voltmètre de précision. — Boîtes de résistances industrielles. — Bobine Ruhmkorff pour l'inflammation des moteurs à gaz.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS.
34553 Quai des Grands-Augustins, 55.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS A ÉTÉ RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE LE 7 DÉCEMBRE 1886.

DEUXIÈME SÉRIE.
TOME IV. — ANNÉE 1904.



SIÈGE SOCIAL { 12 et 14, rue de Staël,
LABORATOIRE {
à Paris.

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1904

~~113~~
K 539

JUN 3 1909

Engineering department

JUN 20 1917

TRANSFERRED TO
HARVARD COLLEGE LIBRARY

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Séparation électrique et magnétique des minerais (M. D. Korda), p. 9 ⁽¹⁾.
Allocution de M. le Président (M. E. Hospitalier), p. 41.

CORRESPONDANCE, p. 42.

INFORMATIONS, p. 42.

PÉRIODIQUES ÉTRANGERS, p. 43.

BIBLIOGRAPHIE, p. 45.

OUVRAGES OFFERTS, p. 47.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 6 Janvier 1904 ⁽²⁾.

PRÉSIDENCE DE M. E. HOSPITALIER.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir.

Le procès-verbal de la dernière Réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts (*voir* p. 47) et des demandes d'admission suivantes :

⁽¹⁾ La Communication faite par M. Laporte à la séance du 6 janvier : *Recherches sur l'arc électrique à courant alternatif exécutées au Laboratoire central d'Électricité*, paraîtra au *Bulletin* de Février.

⁽²⁾ La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MM.

Almeida Lisbôa (Joaquim-Ignacio de), Professeur de Mathématiques au *Gymnase de Rio-de-Janeiro*, Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 15 bis, rue Rousselet, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Ambrières (Georges-Marie-Symphorien-Eugène **Gouin d'**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Sous-Directeur des *Forges et Chantiers de la Méditerranée*, Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 37, quai du Port, à la Seyne (Var). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Blaché (Paul-Louis-Auguste), Ingénieur de la *Société française Sprague*, 16, rue du Commandant-Marchand, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Bouchard (Pierre-Joseph), Licencié ès sciences, Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 44, rue d'Assas, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Brenot (Maxime-Charles), Sous-Directeur de l'*Usine centrale du Secteur de la rive gauche de Paris*, 41, quai d'Issy, à Issy-les-Moulineaux. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Brune (Paul), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 8, rue des Beaux-Arts, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Bugnet (Albert-Armand), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 8, rue Edme-Guillout, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Cahen (Armand), ancien Élève de l'*École Polytechnique* et de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur à la *Société coopérative des Fonderies, Laminiers et Tréfileries de Rugles*, 79, avenue de Villiers, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Chedeville (Paul-Edmond), Élève à l'*Ecole supérieure d'Électricité*, 7, passage des Eaux, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Chemin (Eugène-Amédée), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 14, rue Lecourbe, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Chevalier (Léon-Jean-Baptiste), Capitaine d'Artillerie commandant la 11^e batterie du 32^e d'Artillerie, à Fontainebleau. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Dinoire (Eugène), Ingénieur aux *Usines de Lens*, à Lens. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Dive (Paul), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 21, rue Ernest-Renan, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Elluin (Henri), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 114, boulevard Magenta, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Fave (Marie-Alexandre-Jean), Ingénieur de la *Station d'Énergie électrique des boulevards Bordeaux-Saint-Augustin*, rue du Commandant-Marchand, à Bordeaux. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Fonseca (João-Jorge da), Lieutenant de Vaisseau, Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, palais d'Orsay, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Fournier (Henri-Victor), Lieutenant d'Artillerie, 32, avenue Félix-Faure, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Franckel (Daniel), Licencié ès sciences, Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 47, boulevard du Montparnasse, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Freudenson (Léonard), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 52, rue Gay-Lussac, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Gaillard (Joseph-Marie-Léon), Attaché aux *Ateliers de Construction mécanique de*

MM.

- l'Horme* (Loire), pour les essais de gazogènes et moteurs à gaz pauvre, 80, rue de la République, à Saint-Chamond (Loire). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Grosrenaud** (Raymond-Eugène), Licencié ès sciences mathématiques, Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 10, rue Nicolas-Charlot, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Hardelay** (Jacques), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 40, rue d'Anjou, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Krakowski** (Léon), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 8, rue Edme-Guillout, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Langlade** (Joseph), Directeur de la *Compagnie d'Électricité de l'Ouest-Lumière*, 3, quai National, à Puteaux. — Présenté par MM. Desrozières et Grosselin.
- Larroze** (Charles), Ingénieur à la *Société l'Éclairage électrique*, 11, rue Mignard, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Lebrun** (Marcel-Alfred), Dessinateur aux bureaux d'études de la *Compagnie électromécanique*, 200, rue de Crimée, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Legras** (Charles-Marcel), Élève de l'*École supérieure d'Électricité*, 134, rue d'Assas, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Leibovici** (Jacques), Ingénieur-électricien, sortant de l'*École Polytechnique de Zurich* (Suisse), 22, boulevard Saint-Germain, à Paris. — Présenté par MM. Laporte et Iliovici.
- Le Soufaché** (Joseph-Pierre-Marie), Associé de la *Maison F. Grimault, Le Soufaché et Félix* (Anciens *Établissements Henri Rouart*), 19, boulevard de Courcelles, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Letheule** (Paul), Ingénieur de la *Section française d'Électricité à l'Exposition de Saint-Louis*, 52, rue de Clichy, à Paris. — Présenté par MM. Hospitalier et Janet.
- Lévy** (Jacques), Ingénieur-constructeur-électricien, 91, rue des Marais, à Paris. — Présenté par MM. Bloch et Sabourain.
- Mahoudeau** (Jacques-Marie-Louis), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 87, boulevard Saint-Michel, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Malassis de la Cussonnière** (René-Marie), 4, cité Vaneau, à Paris. — Présenté par MM. Laporte et Iliovici.
- Mariage** (Léon-André), Ingénieur en chef des services techniques de la *Compagnie générale des Omnibus*, 69, boulevard Pasteur, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Martin** (Jean-Louis-Pierre-Gabriel), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 22, rue Saint-Sulpice, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Meunier** (Gabriel-Séraphin), Élève de l'*École supérieure d'Électricité*, 9, rue Bar-nave, à Grenoble (Isère). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Meunier** (Gustave-Antoine), Ingénieur-électricien à la *Société anonyme des Acieries de France*, à Isbergues (Pas-de-Calais). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Midhat** (Suleyman), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 8, rue Edme-Guillout, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Moreau** (Jean-Dominique-Adolphe), Licencié ès sciences, élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 6, rue Bobierre, à Bourg-la-Reine. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

MM.

- Patot** (Henri), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 31, avenue de Saint-Cloud, à Versailles. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Perrier** (René-Marie-Jacques-Joseph), Licencié ès sciences, élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 39, rue Blomet, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Poggi** (André-Léon), Dessinateur à la *Compagnie P.-L.-M.*, 92, rue de Charonne, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Ramnaud** (François-Marie-André), Employé chez *M^{me} V^{ve} Guérin et Fils*, Banquiers, 24, rue du Plat, à Lyon. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Richard** (Jean-Gabriel-André), Ingénieur des Arts et Manufactures, diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, 2, place Morand, à Lyon. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Rochas** (Victor), Capitaine d'artillerie, 118, rue Lecourbe, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Roy** (Louis-Maurice), Ingénieur à la *Société alsacienne de Constructions mécaniques de Belfort*, 12, rue Denfert-Rochereau, à Belfort. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Saint-Anne** (Jacques-Henri de), Ingénieur civil des Mines, Auditeur libre à l'*École supérieure d'Électricité*, 1, rue François-I^{er}, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Thielemans** (Louis-Joseph-Pierre-Marie), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 110, rue de Rennes, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Vérany** (Victor-Jean-Ferdinand), Ingénieur des Arts et Manufactures, Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 11, rue des Feuillantines, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Winawer** (Adolphe), Ingénieur-mécanicien, élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 14, rue Ernest-Renan, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

LA SÉPARATION ÉLECTROSTATIQUE ET ÉLECTROMAGNÉTIQUE DES MINÉRAIS.

M. Désiré KORDA. — « Il y a peu de problèmes que l'on ait cherché à résoudre par tant de voies différentes que le triage des minerais mixtes ou l'enrichissement des minerais en les séparant de leur gangue. Sans parler des méthodes de séparation chimique (lixiviation, silicatisation, amalgamation, etc.) qui appartiennent plutôt au domaine de la métallurgie, l'ingénieur des mines met à contribution les propriétés physiques les plus diverses des minerais pour obtenir le résultat proposé. On a utilisé ainsi depuis longtemps en pratique courante les différences de propriétés optiques (couleur et réflexion) pour le triage à la main; les différences de propriétés calorifiques pour la séparation par fusion ou par distillation fractionnée; les différences de poids spécifiques pour la préparation mécanique des minerais par voie sèche, au moyen d'air comprimé ou raréfié (ventilateur ou exhausseur); ces mêmes différences jointes à la poussée dans l'eau, l'huile ou d'autres liquides de densité appropriée, pour la préparation hydromécanique; enfin, les différences de dureté ou de clivage pour la séparation dans des appareils à force centrifuge.

» Les propriétés électriques et magnétiques des minerais ne pouvaient rester longtemps inutilisées. La différence de perméabilité magnétique a été, du reste, utilisée avec succès pour les substances fortement magnétiques dès le milieu du ^{xix}^e siècle. En effet, d'après M. Commans, le principe du triage électromagnétique aurait été appliqué pour la première fois en grand en 1854, par M. Sella, au Piémont, pour le nettoyage de minerais de fer magnétique. Déjà, en 1847, on connaissait l'appareil de Wall à aimant permanent pour l'extraction de l'oxyde de fer magnétique. Mais il fallait attendre le développement de la construction des électro-aimants puissants des dynamos pour pouvoir appliquer ces procédés aux substances faiblement magnétiques. Depuis une dizaine d'années, beaucoup d'installations se sont créées un peu partout pour la séparation des minerais les plus divers.

» L'application du champ électrostatique dans le même but est d'une date encore plus récente et, en réalité, n'a pas encore obtenu la consécration définitive d'une pratique prolongée. Elle est basée sur la manière dont se comportent, à l'électrisation, les divers minerais, suivant qu'ils sont plus ou moins conducteurs.

» Cette application peut être appelée à jouer un certain rôle, et nous en dirons quelques mots avant de passer aux systèmes électromagnétiques.

I. — TRIEUSES ÉLECTROSTATIQUES.

» La séparation électrostatique est née, il y a environ 2 ans, du désir de pouvoir trier des minerais d'une indifférence magnétique complète. De même que le triage magnétique n'a pu s'appliquer qu'aux minerais dont la presque égalité des poids spécifiques a rendu impossible toute séparation par les bacs à secousse (wolframite et cassitérite, par exemple), le triage électrostatique ne pourra se développer que pour les minerais dépourvus de toute susceptibilité magnétique, et excluant par là l'emploi de la séparation électromagnétique. C'est le cas de la pyrite de fer avec la pyrite de cuivre, ou bien encore du cuivre gris avec la blende, qui ne peuvent être séparés par les procédés hydromécaniques et magnétiques.

» L'inventeur du triage électrostatique est le professeur Blake, à Kansas (U. S.), aidé de ses collaborateurs Morscher et Swarte, ingénieurs à Denver (Colorado). Les premiers brevets américains (U. S. Patents 668 791 et 668 792 : Electrical separator of conductors from non-conductors) datent du mois de février 1901; le dernier (U. S. Patent 701 417) du 3 juin 1902.

» Indépendamment des Américains, M. Negreanu, professeur à Bucarest, a effectué des expériences sur le triage électrostatique des minerais (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 15 décembre 1902 et 20 avril 1903) et a obtenu des résultats intéressants par des moyens plus simples que ceux de M. Blake. En effet, M. Negreanu a eu l'idée d'utiliser l'électrisation par frottement des minerais mixtes sortant du broyeur pendant leur passage à travers les tamis. A cet effet, il laisse tomber ces minerais sur un condensateur à anneau de garde genre Thomson, dont le disque intérieur

est relié au pôle positif d'une machine électrostatique et l'anneau extérieur au pôle négatif. Les particules dans lesquelles se développe de l'électricité négative tombent sur le disque intérieur; par contre, celles électrisées positivement sont attirées par l'anneau de garde. Ce phénomène apparaît bien avec un mélange de soufre et de minium de plomb pulvérisés. La poudre jaune de soufre va à l'anneau de garde et la poudre rouge de minium au disque intérieur. On peut séparer de la même manière la galène (sulfure de plomb) et la blende (sulfure de zinc). La première va au pôle positif et la seconde au pôle négatif.

» Le procédé Blake repose sur un principe analogue; mais, au lieu de produire l'électrisation par frottement, il utilise le phénomène d'influence. Toute la masse de minerais s'électrise de façon à présenter une charge de même signe. La marche de l'opération est représentée sur le schéma (*fig. 1*).

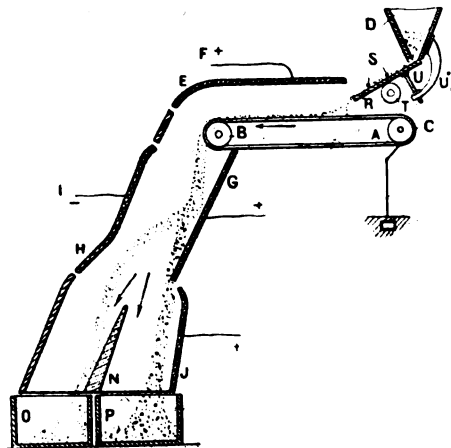


Fig. 1. — Procédé Blake.

» Le minéral pulvérisé tombe sur une courroie en caoutchouc A, mue par les deux poulies B et C, et passe sous la tôle E. Cette dernière est reliée au pôle positif d'une machine électrostatique pouvant produire une tension de 20 000 volts environ; la courroie est reliée à la terre. Dans ces conditions, le minéral sur la courroie se charge négativement par influence. En la quittant, il tombe sur la plaque positive G d'un condensateur GH. Au moment du contact, sa charge électrique change de signe et devient positive, les particules

sont alors repoussées par la plaque positive G. C'est le phénomène de l'électroscope à balle de sureau. Les particules qui subissent cette répulsion quittent leurs trajectoires M pour suivre celles plus inclinées L et se réunissent dans le récipient O. Toutefois, toutes les particules ne sont pas repoussées, car l'inversion de la charge exige un délai d'autant plus long que la conductibilité électrique de la particule de minerai est moindre. Les grains dont la charge n'est pas suffisamment modifiée par le contact de l'armature G continuent donc de suivre leur trajectoire primitive et se réunissent dans le récipient P.

» Les différences de susceptibilité par rapport à la polarisation électrique ou par rapport aux changements du potentiel électrique peuvent donc produire des déviations suffisantes pour permettre la séparation des divers minerais.

» D'ordinaire, les minerais métalliques possèdent une conductibilité très élevée, par rapport à celles de leurs gangues (quartz, calcaire, soufre, etc.), ce qui permet leur séparation électrostatique.

» Il y a pourtant des exceptions à cette règle. Ainsi, les minerais de zinc suffisamment purs, comme la blende claire par exemple, ne sont pas conducteurs, ce qui rend possible leur séparation par voie électrostatique des pyrites, de la chalcoppyrite et de la galène après simple séchage et sans grillage préalable.

» Les séparateurs électrostatiques de Blake sont, depuis 2 ans, en fonctionnement à Denver, à la Colorado Zinc Company. D'après les données publiées jusqu'ici, leur fonctionnement est assez satisfaisant. Chacune des machines employées a une capacité de 12 à 15 tonnes par journée de 24 heures d'un minerai de finesse correspondant au tamis de 30 mailles par pouce anglais. La machine a 7m de longueur sur 1m de largeur et 2m de hauteur, dimensions plutôt encombrantes. Elle exige une puissance de 0,75 poncelet, machine électrostatique comprise. Cette dernière a ceci de particulier qu'elle est presque entièrement métallique avec une quantité minima de matière diélectrique solide, à l'exclusion du verre, pour la rendre aussi peu sensible que possible aux conditions hygroscopiques. Cette machine est autoexcitatrice. Le peu que nous en connaissons a été donné par un article de M. Swarte, colla-

borateur de M. Blake, qui donne les résultats suivants obtenus sur ces séparateurs :

**1. MINÉRAIS DE ZINC MIXTES DE JOPLIN (DISTRICT DE MISSOURI-KANSAS),
COMPOSÉS DE BLENDE, DE PYRITE ET DE GALÈNE.**

» Le minerai broyé et tamisé a donné à la classification les grosseurs suivantes :

8,22 pour 100 du poids passait aux tamis n ^{os} 6 à 8		
6,85	—	8 — 12
15,07	—	12 — 16
12,93	—	16 — 20
24,35	—	20 — 40
32,57	—	40 et plus fin.

» Par conséquent 43,97 pour 100 sont au-dessus du tamis n^o 20 et 56,92 pour 100 en dessous.

» On a fait passer 16 tonnes de ce minerai en 24 heures par un appareil Blake. Les résultats de la séparation furent les suivants :

Métal ou gangue.	Teneur initiale en pour 100.	Minerai concentré de fer et plomb, proportion en pour 100.	Minerai concentré de zinc, proportion en pour 100.
Zinc.....	49,20	3,60	60,69
Fer	9,62	29,24	2,02
Plomb.....	2,28	8,89	traces
Insolubles (quartz, etc.)..	4,60	5,00	3,10

» Le produit zingueux représente 80,21 pour 100 du poids total dont 1,57 pour 100 forment la perte par poussière, échantillons, etc.

» Cette expérience a été exécutée avec tout le minerai, gros et fin, ensemble. En la répétant séparément avec les grains au-dessus du tamis n^o 20 et avec ceux en dessous de cette grosseur et en mélangeant ensuite les produits obtenus, on obtient finalement un minerai de zinc plus riche dont l'analyse donne 61,81 pour 100 Zn. Le peu de cuivre du minerai primitif se retrouve avec le produit ferreux et plombéux.

(¹) *Engineering and Mining Journal*, 24 janvier 1903, New-York.

2. BLENDE NOIRE DE LEADVILL (COLORADO) PRÈS DE DENVER, COMPOSÉE DE PLOMB, ZINC, FER ET NE CONTENANT PRESQUE AUCUNE GANGUE.

» Ce minerai fut d'abord broyé jusqu'au tamis n° 30 et lavé sur des tables Wilfley pour le débarrasser de la plus grande partie de plomb et de silice. Le reste, séché, contenait surtout des pyrites, des pyrrhotines et de la blende. Les différentes grosseurs correspondaient aux numéros de tamis suivants :

Proportion en pour 100.

33,8	aux n° 30 à 60
28,5	— 60 — 100
38,2	— 100 — 200
17,8	de poussière au-dessus de 200 mailles par pouce anglais.

» 12,83 tonnes de ce minerai furent traitées en 24 heures sur les appareils Blake-Morscher et donnèrent comme résultat :

Métaux.	Teneur initiale en pour 100.	Concentré de fer et de plomb, teneur en pour 100.	Concentré de zinc, teneur en pour 100.
Zinc.....	30,37	8,14	51,18
Fer.....	20,14	35,14	8,80
Plomb.....	4,60	9,05	0,60
Insolubles (quartz, etc.)..	3,30	4,60	2,70

» Le minerai de zinc constitue 50,88 pour 100 du poids total dont 1,22 pour 100 sont à déduire comme pertes pour poussière, échantillons, etc.

» La séparation de la blende d'un côté et de la galène et pyrite de l'autre a donc bien réussi et le système paraît avoir un certain avenir pour des minerais qui sont trop finement enchevêtrés pour pouvoir être lavés économiquement.

» Pour beaucoup d'autres minerais mixtes qui peuvent être traités magnétiquement, l'application d'un système électrostatique serait bien moins favorable. En effet, ce dernier système donne beaucoup plus de produits intermédiaires, car les différences dans les pouvoirs inducteurs spécifiques des minerais à séparer se tiennent dans des limites bien plus serrées que les perméabilités magnétiques.

1853

Anciens Ateliers

HOURY & C^{ie}

et

VEDOVELLI

& PRIESTLEY

1904



JANVIER 1904

Bulletin

Mensuel

des

CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES

PUBLIÉ PAR LA COMPAGNIE GÉNÉRALE
DES CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES

60, RUE DE PROVENCE, 60

Avis Important

Une maison comme la nôtre, dont le champ est aussi vaste, qui s'adresse directement ou indirectement à toutes les industries, éprouve les plus grandes difficultés à rester en rapport constant avec sa clientèle.

A chaque instant surgissent des modèles nouveaux de câbles et d'appareils dont la création nous est suggérée par des besoins particuliers, nous avons le plus grand intérêt à faire connaître ces modèles à nos clients et ceux-ci ont souvent également intérêt à les connaître. Nous ne pouvons pas envoyer à chaque fois cinq ou six mille lettres accompagnées de cinq ou six mille dessins.

Au début de l'année dernière nous avons imaginé d'envoyer à toute notre clientèle un almanach, dans lequel au milieu des formules intéressantes de la technique industrielle se trouvaient les descriptions détaillées des principaux et des nouveaux articles de notre fabrication.

Sommaire

- I. — Étude sur les Electros.
- II. — Notice sur l'Eclairage système Fortuny.
- III. — Retour du courant.
- IV. — Informations diverses.

FABRICATIONS de la C. G. C. E.

60, Rue de Provence, PARIS



ENVOI DES CATALOGUES ET ECHANTILLONS FRANCO SUR DEMANDE

Fils et câbles isolés pour lumière électrique.
 Fils et câbles isolés pour transport de force.
 Fils et câbles isolés pour traction électrique.
 Câbles souples pour lampes à incandescence — sous coton,
 sous soie, sous gaine de cuir à 1, 2, 3, 4 conducteurs.
 Fils et câbles pour la sonnerie, la téléphonie.
 Fils de cuivre haute conductibilité, de maillechort.
 Couverts soie et coton, à une ou plusieurs couches.
 Tubes en caoutchouc, ruban chattertonné, ruban caout-
 chouc, caoutchouc naturel, chatterton en bâton, gutta en
 bandes, dissolution de caoutchouc, etc.
 Câbles fils et Cordons pour automobiles.

Fils

et

Câbles

ISOLANTS

ISOLANTS MOULÉS
 MATIÈRES SPÉCIALES

PORCELAINES

POUR

HAUTES

ET

BASSES TENSIONS

(Références à 60.000 volts 1)

Interrupteurs - Disjoncteurs - Télérupteurs -
 Relais - Coupe circuits - Fuses étalonnées -

Traction

Matériel pour lignes aériennes.

Connexions de Rail. Rigides, demi-souples, souples, ultra-souples.

Charriots pour deux et trois fils (alimentations d'omni-bus sur route, quai, pont roulant, etc.

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE

POUR

THÉÂTRES

etc., etc.

OFFRES et DEMANDES de MATÉRIEL d'OCCASION

Les Inscriptions sont complètement gratuites

101. — A vendre, bonne occasion, machines à vapeur de 8, 12, 25 chevaux.

103. — A vendre, 1 alternateur monophasé, 150 chevaux.

Ce bulletin est tiré au minimum à 10,000 exemplaires et envoyé à toutes les personnes susceptibles d'acheter du matériel mécanique et surtout électrique.

OFFRES et DEMANDES d'EMPLOI

Les Inscriptions sont complètement gratuites

102. — On demande un bon contremaître électricien, ayant une bonne pratique industrielle, pour diriger petite station de 2.500 lampes environ, 250 francs et logé.

104. — Ouvrier quartier-maître de la Marine, ayant dirigé dépôt de tramways, et fait des montages, désiterait place similaire.

Ce bulletin est tiré au minimum à 10,000 exemplaires et envoyé à toutes les personnes susceptibles d'employer du personnel.

Prière dans les demandes ou réponses de bien vouloir mettre en tête de la lettre les mots matériel d'occasion ou emploi.

Imp. SEYER frères, 37, rue de l'Échiquier — PARIS

Le Gérant : Ch. SEYER

et surtout en veillant à ne donner que des descriptions intéressantes et nouvelles. Ces circulaires périodiques eurent le plus grand succès. Par la force des choses, nous avons été amené à leur donner une importance de plus en plus grande.

Nous nous décidons aujourd'hui à transformer cette circulaire en un véritable bulletin mensuel, que nous enverrons à tous nos clients et à toutes les personnes s'intéressant à l'électricité, qui en feront la demande. Nous ne faisons pas cela bien entendu pour le plaisir de faire paraître un bulletin, le but que nous poursuivons est le suivant : faire connaître, apprécier nos produits, étendre nos débouchés.... mais, dans l'espoir d'être suivis nous ferons en sorte que notre "BULLETIN MENSUEL" soit le moins possible un plaidoyer *pro dono*. Nous nous efforcerons d'en rendre le contenu intéressant pour tout le monde. Nous n'irons pas, bien entendu, vanter les appareils du voisin, mais à côté de la description de nos nouveautés qui, nous l'espérons, sera très suffisante pour capter l'attention, nous avons pensé adjoindre quelques rubriques, telles que : offres et demandes d'emplois, offres et demandes de matériel d'occasion, cours des métaux, revues des affaires intéressantes, etc., etc. — Nous nous efforcerons de faire tout cela d'une manière claire, concise, facile à lire. Nous ne signalons que pour mémoire, nos vignettes de première page qui seront toutes différentes et mériteront d'être gardées.

L'ordre d'idées ci-dessus de faire un Bulletin mensuel, n'est pas absolument nouveau, d'autres maisons l'ont fait, dans d'autres industries que la nôtre. Les maisons qui l'ont tenté consciencieusement, ont d'ailleurs, réussi à intéresser leur clientèle. — Dans l'électricité nous sommes croyons-nous les mieux placés pour faire dans cette voie quelque chose si non de bien, du moins, digne d'attention. Nous avons comme clients fermes ou éventuels l'universalité des électriciens, ne fabriquant ni dynamos, ni moteurs, ne faisant ni installations, ni entreprises courantes, nous n'avons partout que des amis. — En câbles, 51 années d'existence nous ont donné un acquis, une notoriété et une réputation qui nous a ouvert toutes les portes. — En appareillage, la place que nous nous sommes faite par la diversité de nos modèles, l'élégance de nos solutions, est spéciale.

Nous avons adjoint dans ces derniers temps, à nos fabrications, celle des isolateurs en porcelaine, celle des isolants moulés, et nous sommes arrivés dans ces deux départements par un outillage spécial à des résultats, sur certains points, inconnus jusqu'à ce jour.

Notre but est de nous cantonner dans tout ce qui est l'accessoire de l'électricité. Dans ces conditions, un Bulletin dans le genre de celui que nous voulons faire paraître, doit rendre les plus grands services, non seulement à nous même, mais à toute l'industrie en général.

Les personnes qui veulent s'assurer le service gratuit de ce Bulletin, sont priées de nous le faire savoir.



— VEUR



~ JANVIER

③ 7 h 56 à 4 h. 11

1	V	Circumcision
2	S	s. Basile
3	D	s. Geneviève
4	L	s. Rigobert
5	M	s. Sincron
6	M	s. Epiphane
7	J	s. Mélanie
8	V	s. Lucien
9	S	s. Marcelin
10	D	s. Agathon
11	L	s. Théodose
12	M	s. Arcadius
13	M	Bapt. de J. C.
14	J	s. Hilaire
15	V	s. Maur
16	S	s. Guillaume
17	D	s. Antoine
18	L	Ch. de S. P.
19	M	s. Sulpice
20	M	s. Sébastien
21	J	s. Agnès
22	V	s. Vincent
23	S	s. Raymond
24	D	s. Timothée
25	L	Conv. S. P.
26	M	s. Polycarpe
27	M	s. J. Chrysost.
28	J	s. Chastan.
29	V	s. Fr. de Sales
30	S	s. Bathilde
31	D	Septuagésime

II. — TRIEUSES ÉLECTROMAGNÉTIQUES.

» Revenons maintenant aux systèmes dans lesquels on emploie le magnétisme pour séparer les minerais fortement magnétiques de ceux qui le sont moins ou les minerais faiblement magnétiques de ceux qui ne le sont pas.

» Le principe fondamental de tous ces appareils est le même. Le minerai mixte, broyé et convenablement classé comme grosseur, est amené dans un champ magnétique d'une intensité appropriée. Chaque particule de minerai est également soumise à l'action de la force qui lui imprime le mouvement et à celle de la pesanteur. Dans certain cas, c'est le poids même qui est utilisé pour amener par chute libre le minerai dans le champ magnétique.

» Les particules entrent avec une vitesse acquise dans le champ, qui exerce sur elles une attraction proportionnelle au carré de l'induction magnétique $\mathfrak{M}^2$ à l'intérieur de chaque particule et fonction, par conséquent, de sa perméabilité.

» L'attraction résultante des deux pôles aura la valeur suivante :

$$m\mu\left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2}\right),$$

où m est la masse magnétique des pôles, μ celle de la particule ; r_1 et r_2 sont les distances de cette dernière aux pôles.

» Pour donner à cette résultante une valeur élevée, il faut que l'intensité du champ soit la plus forte possible et que la particule puisse passer le plus près possible d'un des pôles. A première vue, cette double condition paraît pouvoir être simplement réalisée par un entrefer très réduit, d'autant que l'exiguïté de l'espace dans l'entrefer oblige à faire passer l'organe transporteur sur l'un des pôles. Mais, plus l'entrefer est petit et, par conséquent, plus le champ est intense, plus rapidement diminuera la valeur de l'attraction en allant des pôles vers l'axe de l'entrefer. En approchant des pôles, le terme négatif de l'expression ci-dessus pourrait augmenter sans être compensé par l'augmentation de l'intensité du champ. Il y a une valeur de l'entrefer pour laquelle l'attraction est maxima.

» Cette valeur ne peut être déterminée qu'expérimentalement,

car nous ne connaissons pas la fonction suivant laquelle varient les perméabilités magnétiques du fer et du minerai et, par conséquent, la résistance magnétique du circuit.

» Pour des minerais fortement magnétiques, nous pouvons choisir des champs relativement faibles, avec un grand entrefer, ce qui permet d'employer des distances convenables entre la nappe de minerai à trier et les pôles. Par contre, pour des minerais faiblement magnétiques, nous sommes obligés d'avoir recours à de fortes intensités de champ, c'est-à-dire à des entrefers réduits, et le minerai passe tout près de l'un des pôles.

» Un autre facteur que l'on ne doit pas perdre de vue est la vitesse de translation du minerai dans l'entrefer. En effet, l'attraction magnétique doit dévier les particules magnétiques de leur trajectoire. Il s'ensuit que la quantité de mouvement doit être proportionnée à la perméabilité du minerai à traiter et à l'intensité du champ employé.

» A l'usine de Mechernich (Prusse rhénane) on a exécuté une expérience mettant bien ce fait en évidence.

» Un appareil magnétique fut muni d'une courroie de caoutchouc de 5 mm d'épaisseur à laquelle on imprimait des vitesses variables. Le minerai mixte à traiter, d'une grosseur de 0,75 mm, était composé de magnétite, de rhodonite (faiblement magnétique) et de blende (très faiblement magnétique parce qu'elle contient peu de fer). Les résultats furent les suivants :

Vitesses : 100 mètres par minute.			La magnétite seule est influencée.
—	70	—	La rhodonite est aussi un peu influencée.
—	50	—	La rhodonite est complètement influencée, la blende pas encore.
—	40	—	La blende commence à être influencée.
—	30	—	La blende est complètement influencée.

» Pour tous ces essais, la puissance employée à l'excitation a été maintenue constante à 1000 watts.

» Pour une vitesse de 5 mètres par minute, l'effet magnétique sur la blende se manifestait même en réduisant cette puissance à 20 watts.

» La vitesse à imprimer au minerai doit donc être réglée d'après la perméabilité.

» Le principe de la séparation magnétique a servi de base pour

l'établissement d'appareils de types très différents, pour le choix desquels on se laisse guider par la nature et par la finesse du minerai à traiter.

» Sans détailler ici les nombreux types d'appareils qui ont été proposés, et sans nous arrêter notamment aux trieuses à aimants permanents, comme celles de Vavin ou d'Héberlé (1881), qui n'ont plus qu'un intérêt historique, nous nous limiterons aux appareils ayant fourni plusieurs années de pratique irréprochable ou présentant un perfectionnement intéressant.

» La classification des séparateurs magnétiques peut être basée sur une différence purement constructive, suivant que les électro-aimants sont fixes ou mobiles. Chacune de ces classes peut se subdiviser en deux autres catégories. Les séparateurs à électros fixes peuvent être classés suivant la manière dont s'exerce l'action magnétique :

» 1° En appareils dans lesquels le minerai est enlevé de la masse et transporté hors du champ au moyen d'organes de transport ;

» 2° En appareils dans lesquels l'attraction magnétique n'exerce qu'une déviation de la trajectoire de chute libre des particules magnétisées.

» On peut combiner ces deux systèmes dans des appareils où le minerai magnétique est soumis à la fois à un soulèvement et à une déviation.

» Les séparateurs à électros mobiles peuvent se subdiviser à leur tour :

» 1° En appareils à action intermittente employés surtout pour les minerais fortement magnétiques ;

» 2° En appareils continus.

» Les derniers comprennent les fameux appareils du type *Buchanan*, et ceux qui se sont développés par les heureuses modifications que les ingénieurs de l'Electromagnetische Gesellschaft, à Mecher-nich (Allemagne), y ont apportées. Ces appareils sont construits aux ateliers de la maison F. Krupp, à Magdeburg (Gru-sonwerk).

» Parmi les séparateurs à action intermittente, nous pouvons citer l'appareil système Johnson, construit par la maison Barnard and Leas, à Moline, Illinois, U. S.

» Enfin, parmi les séparateurs à électros fixes, les plus connus sont ceux du type Wetheril et les systèmes connexes de la Metallurgische Gesellschaft, à Francfort-sur-Mein, construits par les ateliers de la Société *Humboldt*, à Kalk, près Cologne.

» Cette dernière maison de construction s'occupe depuis longtemps de ces sortes d'appareils et avait lancé, il y a 20 ans, un autre appareil à électros fixes, du système Kessler, que nous tenons à mentionner, car il a été préconisé à ce moment en France par la Société Sautter, Harlé et C^{ie}, et a été employé, non sans succès, aux mines de Pierrefitte, dans les Pyrénées, pour la séparation de la blende et de la magnétite. L'appareil Kessler était du type de ceux dans lesquels les particules magnétiques sont enlevées par un organe transporteur, constitué, dans l'espèce, par un tambour en laiton tournant devant des électro-aimants fixes (1).

» Mentionnons enfin, parmi les appareils à électros fixes, le séparateur Knowles, modification du type Wetheril-Rowand.

» Voici maintenant quelles sont les particularités saillantes de ces divers systèmes.

1. — SÉPARATEURS MAGNÉTIQUES, SYSTÈME MECHERNICH.

» L'attraction sur les minerais à séparer est produite par deux électro-aimants cylindriques parallèles ; on dispose donc de deux entrefers, c'est-à-dire de deux champs servant pour le triage. Les largeurs de pôles sont très grandes afin de permettre une excellente utilisation de ces champs. La pièce polaire supérieure est de section circulaire, la pièce inférieure est ovale (*fig. 2*). Il en résulte une distribution convenable des lignes de force entre les deux pièces polaires, de façon que l'intensité magnétique est maxima à l'endroit le plus rétréci de l'entrefer et diminue graduellement des deux côtés.

» Le minerai, d'une grosseur déterminée, sort d'une trémie de chargement qui est munie d'un appareil électro-magnétique à secousse. Il tombe sur un couloir en tôle à inclinaison réglable

(1) Voir *l'Éclairage électrique*, 6 octobre 1894, p. 159.

suivant la vitesse à donner au minerai et qui l'amène à l'endroit de l'entrefer où le champ magnétique est le plus intense. Les

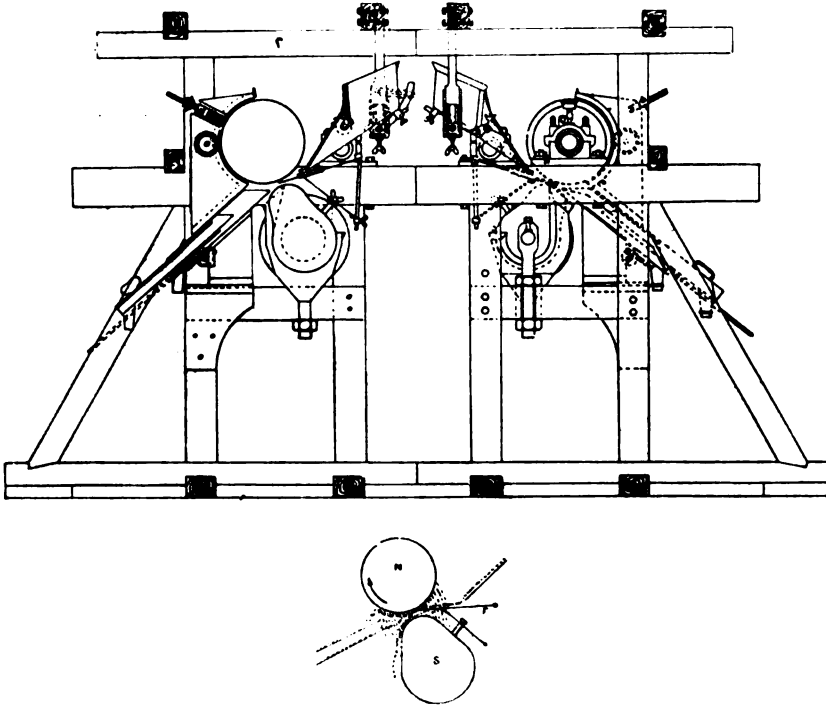


Fig. 2. — Séparateur Mechnich.

parties magnétiques du minerai se précipitent vers le pôle le plus proche et sont entraînées, en y adhérant fortement, par la pièce polaire cylindrique de l'électro supérieur qui a un mouvement de rotation lente. Les parties non magnétiques passent sans déviation sur le pôle inférieur et tombent dans le récipient placé en dessous. La vitesse de rotation du pôle supérieur N est réglée suivant la quantité de minerai que l'on désire faire passer par l'appareil dans un temps déterminé. Les particules magnétiques, collées contre la surface polaire, sont entraînées jusqu'à ce que l'intensité du champ soit devenue assez faible pour que la gravitation et la force centrifuge les détachent. Elles sont donc entraînées d'autant plus loin qu'elles sont plus magnétiques, ce qui permet de séparer non seulement les substances magnétiques et celles qui ne le sont pas, mais aussi des substances de perméabilité différente. Les produits du

trriage sont dirigés par des couloirs en tôle montés l'un sur l'autre avec les inclinaisons nécessaires et aboutissant aux récipients respectifs.

» La grande qualité de ce système aussi simple qu'efficace, réside dans l'absence de tout organe de transport, courroie ou autre. Il présente, par contre, plusieurs difficultés techniques que l'expérimentation seule permet de résoudre. En premier lieu, il paraît indispensable que l'écartement des pôles ne puisse varier, afin que la distribution du champ reste la même une fois réglée. Or, les pôles s'attirent énergiquement, ce qui provoque une forte pression latérale sur le coussinet de l'électro-aimant rotatif. Il faut donc prévoir un palier solide avec rattrapage de jeu. On peut employer aussi avec succès des bagues en matière non magnétique montées en bout des électro-aimants et qui, en roulant l'une sur l'autre, assurent l'écartement des pôles opposés.

» De plus, dans l'électro mobile, le champ magnétique qui se déplace par rapport au noyau de fer produit dans ce dernier des pertes par hystérésis et par courants de Foucault. Les courants d'excitation sont donc plus élevés que si les électros étaient fixes.

» Le nettoyage des rouleaux polaires se fait par des rouleaux à brosses d'acier placés contre le pôle supérieur. Les pointes des brosses en acier déterminent des inductions magnétiques très élevées arrachant les particules magnétiques de minerai collées fortement, par l'attraction, sur les pièces polaires rotatives. Ces particules sont ensuite rejetées vers des couloirs latéraux.

» Le classement du minerai à traiter est une des opérations les plus délicates de la séparation électromagnétique. Plus la différence dans la perméabilité des substances à séparer est faible, plus le classement doit être précis. Mais, d'un autre côté, un broyage et un classement poussés trop loin produisent un excès de poussières qui incommode le personnel et bouchent les tamis du classeur en déterminant un entretien onéreux. La Société de Mechernich a remédié à cet inconvénient en remplaçant les tamis par un séparateur à force centrifuge.

» Le courant d'air produit par un ventilateur et combiné avec la force centrifuge du minerai broyé mis en rotation rapide, permet de séparer les grosseurs différentes en enlevant les parties fines

et la poussière, qui se déposent dans des caisses prévues à cet effet. Toutefois, le gros produit sortant de ce classeur peut ensuite passer dans un tamis à secousse qui le sépare encore en deux grosseurs.

2. TRIEUSE MAGNÉTIQUE SYSTÈME JOHNSON.

» Cet appareil se compose, en principe, d'un solénoïde *c* (*fig. 3*)

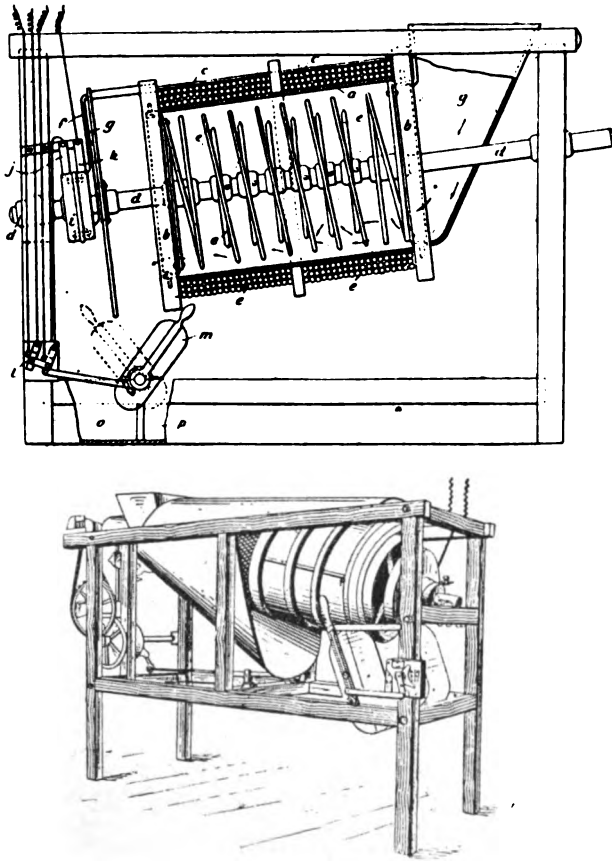


Fig. 3. — Trieuse magnétique Johnson.

formé d'un cylindre en tôle douce portant sur toute sa surface extérieure un enroulement de fils isolés, aboutissant à une bague à chaque extrémité du cylindre. La force magnétique a sa valeur maxima dans l'axe du cylindre.

» Ce solénoïde est placé sur l'axe *d* logé dans deux paliers et muni de palettes *e* en fer doux qui font avancer le minerai à l'intérieur du tambour, mais qui, aussitôt aimantées par le solénoïde, attirent les particules magnétiques vers l'axe, les séparant ainsi des particules non magnétiques qui, au contraire, tendent, par l'effet de la force centrifuge, à adhérer à la surface intérieure cylindrique.

» Comme nous l'avons déjà signalé, cet appareil est d'un fonctionnement intermittent. Aussitôt qu'il se trouve assez de minerai magnétique autour de l'axe, on interrompt le courant d'excitation. Les palettes *e* se désaimantent et laissent glisser et sortir le long de la paroi inclinée du trommel le minerai qui est retenu par le magnétisme.

» On peut même combiner le commutateur *m* avec le couloir de descente de manière que, en fermant le courant, le couloir en tôle fasse entrer le minerai non magnétique dans le récipient *o*, tandis que, en l'interrompant, le levier du commutateur fasse prendre au même couloir la position nécessaire pour diriger le minerai magnétique dans le récipient *p*.

» L'appareil Johnson est très répandu en Amérique pour le traitement des minerais de fer. Les petits types sont employés notamment dans les fonderies pour récupérer le fer contenu dans les résidus et qui serait perdu autrement.

» Pour le traitement des minerais non magnétiques, il n'est pas très pratique, car son intermittence nécessiterait la mise en rotation superflue d'un grand poids de minerais magnétiquement perméables pendant toute la durée d'une opération de triage. En outre, avec ladite disposition du noyau, il serait difficile de réaliser de bien fortes intensités magnétiques à l'intérieur du solénoïde.

» Nous désirions, toutefois, présenter cet appareil comme spécimen d'un séparateur à électro-aimants rotatifs et à marche intermittente.

3. APPAREILS SYSTÈME WETHERIL.

» Ces appareils, très répandus, appartiennent à la classe des trieuses à électro-aimants fixes. Ils peuvent être, soit de la catégorie dans laquelle le magnétisme enlève les particules magnétiques

amenées près des pôles par la nappe de minerai broyé en mouvement, soit de celle dans laquelle l'attraction magnétique fait dévier les particules magnétiques seules de leur trajectoire, les autres continuant leur chemin.

Triage par extraction.

» Une trieuse de la première catégorie est, par exemple, l'appareil *Rowand*, représenté en schéma par la figure 4.

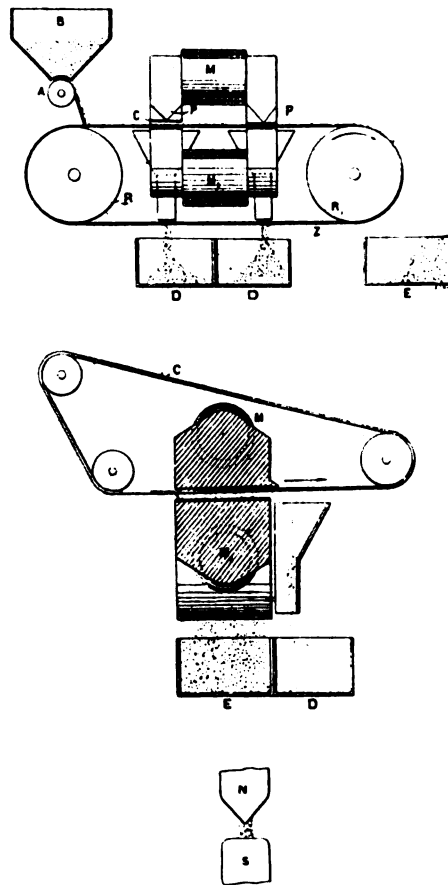


Fig. 4. — Trieuse magnétique Rowand.

» MM sont deux électro-aimants disposés de telle manière que les pièces polaires ou pointes *pp* de l'électro supérieur se trouvent en face des pôles larges de l'électro inférieur. Ces pointes en acier sont

encadrées de sabots en bronze, de telle sorte que l'aspect des pôles supérieurs et inférieurs est le même. Dans l'entrefer ainsi formé se meut la courroie en caoutchouc *Z* passant sur les poulies *RR* et transportant sous les pôles le jet de minerai qui sort de la trémie *B*. Perpendiculairement et croisant cette courroie, d'autres bandes plus étroites *c* passent sous les pointes *pp* et entraînent hors du champ le minerai magnétique. La direction de leur mouvement est indiquée dans la figure schématique par des flèches.

» Dès que le minerai arrive sous le pôle *p* de l'aimant *M*, les particules magnétiques sont attirées et adhèrent aux bandes en toile ou en caoutchouc *C* qui les entraînent latéralement hors du champ. Le reste du minerai continue de cheminer avec la courroie *Z*, arrive sous le deuxième entrefer des électros qui est plus étroit que le premier et où, par conséquent, l'attraction est plus forte. Les particules un peu magnétiques y sont séparées par un mécanisme identique au précédent, de telle sorte qu'il ne reste ensuite, sur la courroie *Z*, que du minerai non magnétique.

» Au lieu d'une paire d'électro-aimants, on peut en disposer deux et même trois le long de la courroie transporteuse *Z*. On les excite différemment afin que chaque entrefer rencontré par le minerai soit plus intense que le précédent, ce qui permet de retirer graduellement les minerais de moins en moins magnétiques.

» La partie inférieure de la figure 4 représente la disposition des pôles dans l'un des entrefers. On y voit bien la concentration des lignes de force à la pointe polaire. L'attraction étant proportionnelle au carré de l'induction magnétique, cette concentration des lignes de force magnétique est très avantageuse pour le fonctionnement de l'appareil.

» Le rendement en quantité de l'appareil dépend, non seulement des qualités magnétiques des minerais à traiter, mais de la grosseur du grain et varie, suivant la puissance des types employés, de 500 kg à 4000 kg à l'heure.

» La consommation de courant est un peu plus élevée pour ces appareils que pour les suivants. La raison en est surtout que les derniers n'ont pas à soulever les particules magnétiques, mais seulement à les dévier légèrement.

» La plus grande installation munie de ces appareils se trouve à

la New-Jersey-Zinc C^o, à Franklin (New-York), où l'on traite journellement 1200 tonnes de minerai mixte sur vingt appareils. Chacun de ces derniers est pourvu de trois électro-aimants le long de la courroie transporteuse et possède donc six pôles. Les deux premiers pôles fournissent un produit magnétique composé de franklinite pure; le troisième donne un mélange de franklinite et de grenat; les quatrième et cinquième un produit de grenat pur; le sixième un mélange de grenat et de willemite et enfin le produit non magnétique se compose de willemite, zinkite et spath calcaire que l'on sépare ensuite dans des bacs à secousse et sur des tables de concentration.

» Parmi les appareils dont le principe se rapproche de celui de la machine Rowand, nous mentionnerons la machine Knowles, construite par l'American Concentrator Company de Joplin (États-Unis), ainsi qu'un appareil anglais, la machine King.

» Le séparateur Knowles est représenté figure 5. Il se compose d'une paire d'électros dont les pièces polaires A et B sont inclinées l'une sur l'autre. Au point où ces pièces sont les plus rapprochées, passe une courroie mue par les tambours O et C et munie sur toute sa longueur de nombreux rivets *c, d* en fer doux, destinés à entraîner, hors du champ magnétique, les particules magnétiques du minerai que dépose en Z le distributeur H. Ce dernier comprend une auge à secousse G et une trémie E, et reçoit un mouvement saccadé par un électro rotatif Q dont les pièces polaires S', T' entraînent celles R, T d'un autre électro concentrique, en comprimant le ressort N jusqu'à ce qu'une butée, reliant la pièce R au distributeur H, empêche la rotation continue de R et T. Dès que la force du ressort dépasse l'attraction des pièces polaires, R et T reviennent brusquement en arrière et le jeu recommence aussitôt qu'un quart de tour de l'arbre Q a amené les pièces polaires suivantes sous R et T.

» Ce séparateur est employé surtout au triage des minerais de fer et permet d'en passer jusqu'à 25 tonnes par heure avec un seul appareil.

» L'appareil King est d'un principe analogue au précédent au point de vue magnétique, sauf qu'au lieu d'un arrêt, c'est toute la face de la pièce polaire qui agit uniformément sur le minerai à travers

la courroie et provoque une séparation en deux couches distinctes, dont l'inférieure non magnétique tombe, tandis que la couche

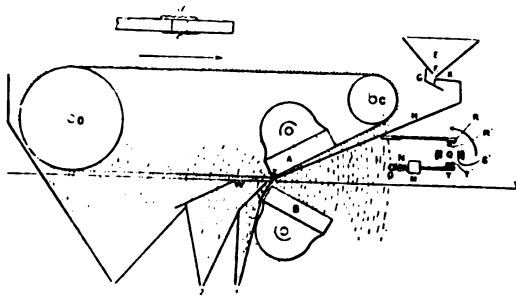
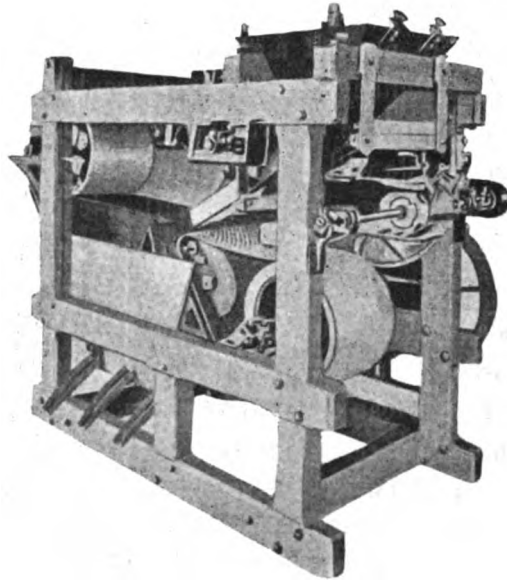


Fig. 5. — Séparateur magnétique Knowles.

magnétique supérieure est entraînée hors du champ et se détache au-dessus d'un couloir correspondant.

Triage par déviation.

» Les appareils de cette catégorie s'appliquent surtout aux minerais faiblement magnétiques. Edison a combiné un tel séparateur simple pour du minerai de fer, mais le fonctionnement n'a pas été accompagné de succès.

» La machine Wetheril, construite sur ce principe, est représentée sur la figure 6. Elle est à trois pôles dont un, en A, est double

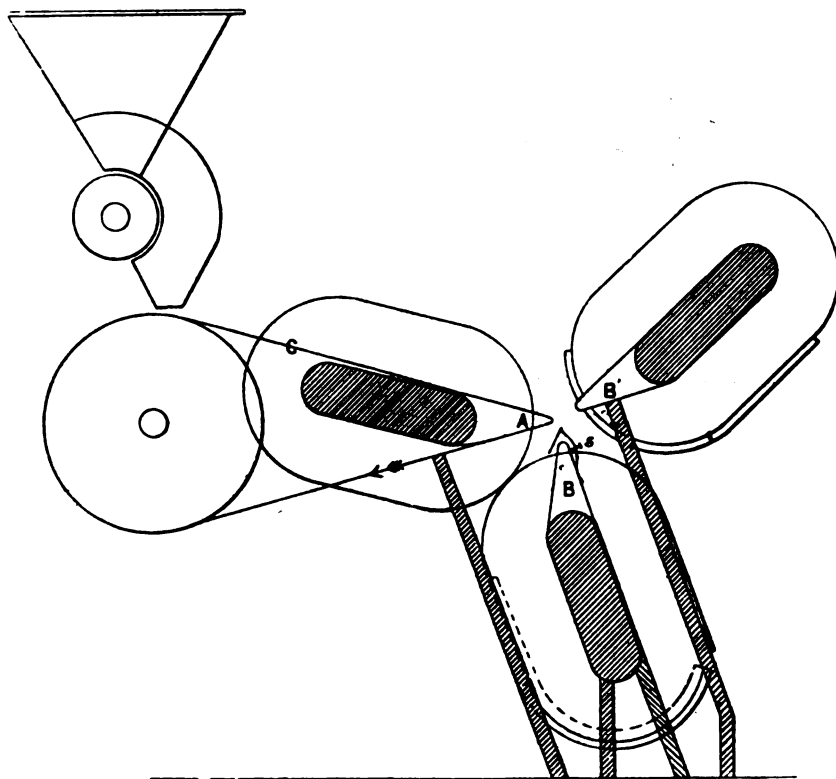


Fig. 6. — Séparateur Wetheril.

par rapport aux deux pôles BB de même nom. La courroie C qui reçoit le minéral de la trémie contourne le pôle A. Les parties non magnétiques tombent sans être déviées, tandis que les parties magnétiques sont déviées vers A. Une cloison en tôle à inclinaison réglable au moyen d'une vis s sépare les deux jets l'un de l'autre.

» Cet appareil permet la séparation des minerais très faiblement magnétiques et n'exige pas un broyage très fin, ce qui permet d'éviter l'excès des poussières.

» La consommation de courant est très faible, par contre la quantité que la machine est capable de traiter par heure n'est pas élevée et varie entre 400 kg et 700 kg.

Triage par déviation et extraction combinées.

» L'appareil Wetheril (*fig. 7*) est également à trois pôles, dont

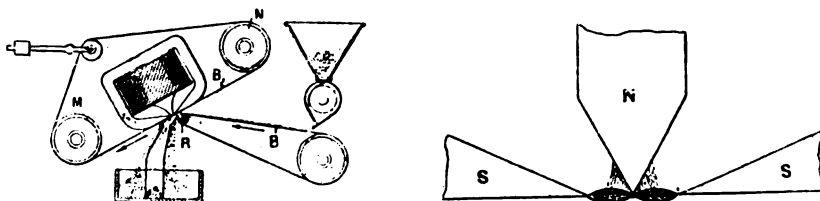


Fig. 7. — Séparateur Wetheril à déviation et extraction combinées.

le principal, N, désigné comme *pôle d'extraction*, est un pôle double par rapport aux deux pôles latéraux SS du même nom. Pourtant, cet appareil diffère essentiellement du précédent, en ce que la courroie en caoutchouc B qui reçoit le minerai mixte de la trémie pour l'amener au champ magnétique, au lieu de contourner le pôle double, chemine sous les trois pointes polaires qui se trouvent dans un plan horizontal. Les parties non magnétiques tombent en chute libre du rouleau en laiton R dans le récipient U; par contre, le minerai magnétique est dévié de son chemin dans le sens horizontal et arrive suivant son degré de perméabilité magnétique dans les récipients O et M. Le produit mixte rassemblé dans le récipient O et composé du minerai mixte trop enchevêtré peut être de nouveau broyé et passé.

» Par une disposition heureuse des trois pôles, il s'exerce, dans cet appareil, en outre de l'effet de déviation signalé, une extraction des particules magnétiques dans la direction horizontale, ce qui augmente beaucoup la capacité de production. Ils permettent de traiter 1200 kg à 2500 kg à l'heure de minerais très faiblement magnétiques. En réalité, cette machine présente une combinaison des deux principes des séparateurs précédents.

» L'usure des courroies est très modérée. La Metallurgische Gesellschaft annonce 1 pfennig, soit 1,25 centime, de frais d'entretien de courroies par tonne de minerai traité. L'énergie mécanique nécessaire pour le mouvement du rouleau et de la courroie est évalué à $\frac{1}{8}$ de poncelet.

Nouveaux types de séparateurs.

» Les appareils qui travaillent d'après le principe de la déviation exigent naturellement des électro-aimants plus petits et une énergie d'excitation plus réduite que ceux qui fonctionnent d'après le principe d'extraction. C'est ce qui a décidé la Metallurgische Gesellschaft à établir deux nouveaux types de séparateurs sur le principe de la déviation pure et simple. Ces nouveaux appareils ont paru la première fois à l'Exposition de Dusseldorf, en 1902, et ont eu immédiatement beaucoup de succès à cause de leur simplicité. En effet, les deux types ne présentent aucun organe de transport.

» Le premier, le type à *rouleau*, rappelle l'appareil Mechernich que nous avons décrit, mais le cylindre mobile est formé par la culasse de l'électro-aimant au lieu de l'être par un des bras. Cela permet un équilibrage parfait en éliminant toute pression latérale. On construit des appareils à un ou deux rouleaux.

» Ce rouleau (*fig. 8*) comprend des rondelles alternativement

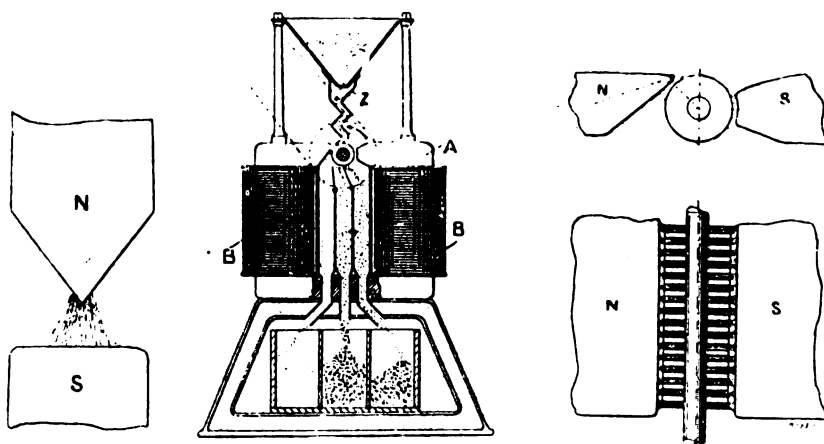


Fig. 8. — Séparateur à rouleaux.

magnétiques et non magnétiques, ce qui crée, sur sa surface mécaniquement lisse, de nombreux points de concentration des lignes de force. Le minerai qui tombe de la trémie directement sur le rouleau passe par l'entrefer. Les parties non magnétiques passent sans déviation au récipient, tandis que les parties magnétiques

sont entraînées par le rouleau jusqu'à la **zone neutre**, où ils tombent dans un autre récipient.

» Cet appareil a fonctionné en même temps à Dusseldorf comme appareil hydromécanique pour un minerai mixte composé de blende et de carbonate de fer. Il permet de combiner la poussée dans les liquides et l'attraction magnétique. Cette méthode de séparation, si elle était sanctionnée par la pratique, pourrait être préconisée pour les minerais donnant beaucoup de poussière, comme certains minerais de fer, la calamine calcinée, etc.

» Plus récemment, la Société de Mechernich a combiné un appareil qui réalise les avantages du type à *rouleau*. Dans ce nouvel appareil, le *rouleau* prend la place de l'induit d'une dynamo du type Manchester. Le séparateur Mechernich y gagne beaucoup par la suppression complète de la poussée latérale et devient d'une construction très simple et très *ramassée*.

» Le second type nouveau présenté à Dusseldorf était à *anneau*. Dans cet appareil (*fig. 8*) la séparation est réalisée par la dispersion magnétique autour d'un électro-aimant annulaire M (*fig. 9*)

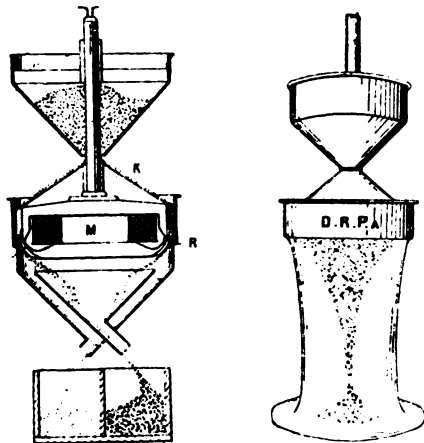


Fig. 9. — Séparateur à anneau.

sans pôles, en forme de cloche sans entrefer, à circuit magnétique complètement fermé. Tout autour de l'anneau de fer, aux endroits correspondant au point R, un rétrécissement dans la section du noyau augmente la réluctance et détermine une forte dispersion dans

l'air des lignes de forces qui rentrent ensuite dans le fer. Cette dispersion agit exactement comme un entrefer au point de vue de la séparation magnétique. L'appareil très simple qu'elle permet de réaliser ne nécessite aucun autre mouvement que la chute du minerai uniformément réparti tombant de la trémie sur le cône distributeur K. Les parties non magnétiques traversent le champ de dispersion sans être influencées, tandis que le minerai magnétique est séparé dans le sens radial.

» Cet appareil s'applique non seulement aux minerais fortement magnétiques, mais aussi à la chalcoppyrite grillée au préalable, par exemple. Les résultats suivants ont été obtenus avec cet appareil par M. Schnelle, ingénieur de la Metallurgische Gesellschaft :

Gros- seur en mm.	Minerai primitif (grillé).		Quantité traitée en kg par heure.	Produit				Zn de la blende Zn du minerai grillé pour 100.
	Proportion en pour 100.	Teneur en Zn en pour 100.		magnétique (pyrite).		non magnétique (blende).		
				Proportion en pour 100.	Teneur en Zn en pour 100.	Proportion en pour 100.	Teneur en Zn en pour 100.	
4 à 2,4	30,29	34,25	1000	10,18	6,1	20,11	48,5	94,01
2,4 à 1,2	33,05	34,15	1050	13,23	6,5	19,82	52,6	92,37
1,2 à 0,6	14,18	35,25	1000	5,34	5,7	8,84	53,1	93,91
0,6 à 0,0	22,48	32,69	400	8,05	6,5	14,43	47,3	92,86

» Ces résultats sont satisfaisants au point de vue pratique. Les rendements sont favorables et la blende d'une teneur au-dessus de 45 pour 100 de Zn est un produit très recherché.

» L'appareil avait un diamètre extérieur de 40 cm au droit du champ magnétique; la périphérie développée représentait donc un pôle linéaire de 1,40 m de longueur. Cette dimension importante explique la forte production de l'appareil, soit 1000 kg par heure.

» Pour terminer la description des divers appareils en usage, nous mentionnerons la tentative faite par la Société de Mechernich pour établir un séparateur magnétique à champ tournant. Cet appareil est destiné aux installations où l'on ne dispose comme sources d'électricité que des courants polyphasés servant au transport et à la distribution de l'énergie. Les particules magnétiques sont retenues dans des augets ménagés autour d'un noyau rotatif en fer dans

lequel un champ magnétique multipolaire tourne rapidement. Les particules non magnétiques tombent dès que les augets sont suffisamment inclinés, les particules magnétiques ne glissent des augets qu'au moment où ces derniers sont arrivés à la partie inférieure, où la paire de pôles correspondante a été supprimée. Les renseignements manquent jusqu'ici sur les résultats pratiques obtenus.

RÉSULTATS PRATIQUES OBTENUS AVEC LES SÉPARATEURS ÉLECTROMAGNÉTIQUES.

» Comme le degré de perméabilité des différents minerais est la considération déterminante pour décider s'ils peuvent ou non être traités utilement par triage magnétique, plusieurs Tableaux ont été dressés, notamment par M. Doelter (1885), classant les principaux minéraux suivant une série de perméabilité décroissante. Ceux qui sont fortement magnétiques comme la magnétite, par exemple, sont appelés par lui des minerais *ferromagnétiques*, et les autres des *paramagnétiques*.

» Bien avant cette époque, un Tableau analogue a été proposé par M. Pluecker, le célèbre géomètre et physicien allemand. Ce Tableau offre le grand avantage que les minerais y sont accompagnés des chiffres exprimant leur degré de perméabilité par rapport au fer dont le chiffre conventionnel est 100 000 :

Fer.....	100 000
Fe ³ O ⁴ ou magnétite ...	40 227
Fer spathique ou sidérite.....	761
Hématite.....	714
Fer oligiste.....	593
Oxyde de fer ou limonite.....	296
Oxyde oxydulé de manganèse ou haussmannite.	167
Oxyde oxydulé de nickel.....	106
Sulfate de manganèse.....	100
Sulfate de fer.....	78
Oxyde de nickel.....	35

» L'intervalle entre la magnétite d'un côté et le fer spathique et l'hématite de l'autre est comblé par toute une série de minerais dont la perméabilité n'est pas déterminée en chiffres précis, tels que le fer titanique, l'illménite, la franklinite, la rhodonite, la chromite, etc. Par contre, certains composés du fer, que l'on serait tenté de ranger parmi les corps fortement magnétiques, ne possèdent

presque aucune perméabilité, comme la pyrite non grillée, par exemple, que l'on a prise longtemps pour un corps diamagnétique.

» D'ailleurs et surtout depuis les travaux du professeur *Wedding*, il est connu que la perméabilité magnétique des minerais ne dépend pas uniquement de la teneur en métal magnétique, mais en même temps de la nature de sa composition chimique. Ainsi, les sulfures de fer présentent une perméabilité très forte ou très faible suivant la teneur en soufre. Tandis que la pyrite de fer ordinaire, FeS^2 , ne possède qu'une perméabilité presque nulle, inférieure à celle de la chalcopryrite non grillée, les pyrrhotines ou pyrites magnétiques, $\text{Fe}^{11}\text{S}^{12}$, sont fortement magnétiques. On peut rapprocher ces faits des recherches de M. Guillaume sur le magnétisme des aciers au nickel, où le minimum de perméabilité correspond à une teneur en nickel bien déterminée.

» Il résulte de ce qui précède qu'une opération accessoire est indispensable pour le traitement magnétique de certains minerais, principalement des blendes pyriteuses et chalcopryriteuses. En effet, tandis que la blende blonde complètement dépourvue de fer n'est pas magnétique, la blende noire ou ferrugineuse possède la même perméabilité que les pyrites ordinaires ou les chalcopryrites. Il s'ensuit que la séparation magnétique directe d'un minerai complexe composé de ces substances serait impossible. Mais un grillage préalable permet de modifier la composition des sulfures de fer et d'augmenter en même temps leur susceptibilité magnétique. Ils deviennent ainsi magnétiquement séparables, à condition toutefois que le grillage ne soit pas poussé trop loin pour entamer également la blende qui deviendrait alors magnétique à cause de sa teneur en fer. D'ordinaire, ce grillage se fait dans des fours rotatifs entre 400° et 500° C. Une installation de ce type est représentée figure 10.

» Une expérience intéressante fut exécutée, dans cet ordre d'idées, en Amérique, par M. W.-B. Philipps (1).

» Il a traité un minerai mixte composé de blende, chalcopryrite, pyrite de fer et galène. Cette dernière ayant été séparée en grande

(1) *Eng. and Mining Journal*, 1901, p. 710.

partie dans des bacs à secousse et sur des tables de concentration, le restant du minerai fut séché, légèrement grillé et traité sur des trieuses magnétiques. L'excitation étant maintenue constante avec un courant de 6 ampères sous 110 volts, la vitesse de passage

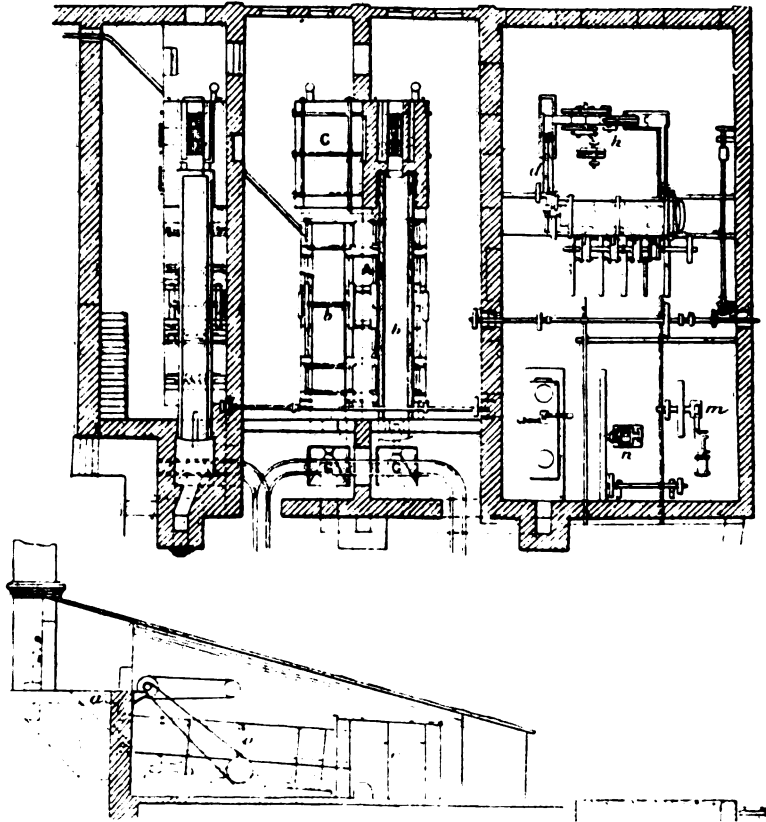


Fig. 10. — Installation d'un grillage et la séparation magnétique.

du minerai a pu varier de façon à augmenter progressivement de 0,5 tonne à 6 tonnes par heure les quantités de minerais traitées (TABLEAU A).

» Les meilleurs résultats correspondent, par conséquent, à 4 tonnes par heure.

» Le minerai fut alors grillé un peu plus fortement de façon à abaisser presque de moitié sa teneur primitive en soufre de 31,45 pour 100, c'est-à-dire à 16,75 pour 100 au lieu de 22,81 pour 100 du premier grillage (TABLEAU B).

TABLEAU A.

Éléments.	Teneur primitive.	Teneur après grillage.	0,5 tonne par heure.		1 tonne par heure.		2 tonnes par heure.		3 tonnes par heure.		4 tonnes par heure.		5 tonnes par heure.		6 tonnes par heure.	
			Non	Magnét.	Magnét.	Non	Magnét.	Magnét.	Non	Magnét.	Magnét.	Non	Magnét.	Magnét.	Non	Magnét.
				(14,40) (p. 100.)	(85,60) (p. 100.)	(11,9) (p. 100.)	(88,9) (p. 100.)	(10,81) (p. 100.)	(89,19) (p. 100.)	(10,09) (p. 100.)	(89,91) (p. 100.)	(9,54) (p. 100.)	(90,46) (p. 100.)	(9,15) (p. 100.)	(90,85) (p. 100.)	(9,09) (p. 100.)
Zinc...	48,00	49,50	10,50	53,5	7,50	54,50	8,50	56,00	5,50	56,00	6,50	58,00	5,50	55,00	8,50	55,50
Cuivre.	1,00	1,50	5,20	»	6,00	»	3,50	»	1,60	»	4,25	»	5,10	traces	3,60	traces
Plomb.	1,80	3,00	1,00	0,80	0,40	0,40	0,60	0,60	0,60	0,80	»	0,60	0,20	0,60	0,60	0,60
Fer...	6,71	6,38	34,54	3,30	26,84	1,84	46,98	1,76	42,13	1,87	39,89	1,65	43,78	1,65	43,45	1,65
Quartz.	10,00	10,68	27,10	20,10	20,40	7,68	13,68	8,56	13,88	11,84	14,00	12,60	17,42	22,04	12,40	8,30
Soufre.	31,45	22,81	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

TABLEAU B.

Éléments.	Teneur primitive.	Teneur après grillage.	0,5 tonne par heure.		1 tonne par heure.		2 tonnes par heure.		3 tonnes par heure.		4 tonnes par heure.		5 tonnes par heure.		6 tonnes par heure.	
			Non	Magnét.	Magnét.	Non	Magnét.	Magnét.	Non	Magnét.	Magnét.	Non	Magnét.	Magnét.	Non	Magnét.
				(18,99) (p. 100.)	(81,01) (p. 100.)	(15,09) (p. 100.)	(84,91) (p. 100.)	(14,34) (p. 100.)	(85,66) (p. 100.)	(13,41) (p. 100.)	(86,59) (p. 100.)	(12,71) (p. 100.)	(87,29) (p. 100.)	(12,81) (p. 100.)	(87,19) (p. 100.)	(12,41) (p. 100.)
Zinc...	48,00	50,00	18,50	56,00	17,00	58,60	17,50	56,00	19,00	48,50	16,00	47,50	16,50	51,00	25,50	55,00
Cuivre.	1,00	2,30	1,30	traces	4,00	0,70	4,65	0,50	5,50	9,30	4,20	2,30	3,20	2,60	7,00	6,00
Plomb.	1,80	0,80	1,60	»	0,60	0,20	2,00	0,40	1,80	0,20	1,80	0,60	2,20	»	0,20	2,00
Fer...	6,71	6,49	27,39	1,65	34,54	1,77	34,32	1,76	34,54	1,87	35,75	2,08	34,87	2,31	34,76	1,87
Quartz.	10,00	12,32	19,86	9,24	21,24	10,76	18,34	10,60	21,02	10,36	20,56	9,88	19,48	13,24	18,85	12,92
Soufre.	31,45	16,72	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

» On peut en conclure que le grillage trop poussé est désavantageux à un triple point de vue. En effet, le pourcentage de la partie non magnétique séparée s'abaisse, c'est-à-dire que l'on obtient moins de produit zingueux; ensuite, la teneur même en zinc de ce produit est devenue plus faible et enfin la perte en zinc resté dans le produit magnétique non utilisable est plus forte. Le grillage est par conséquent une opération très délicate, exigeant un bon réglage de la température, afin d'empêcher la formation de blende grillée.

» Avant de traiter les minerais mixtes magnétiquement et surtout dans les cas où ce traitement nécessite un grillage préalable, il est avantageux de les débarrasser de leur gangue, autant que les circonstances locales le permettent, par lavage ou autre procédé mécanique. La gangue ne pourrait, en effet, qu'augmenter la consommation de combustible au grillage tout en encombrant inutilement les fours et les séparateurs magnétiques.

» Voici un exemple pratique des avantages de l'application successive de ces diverses opérations. Il s'agit de la séparation d'un minerai mixte de chalcopryrite et de blende assez enchevêtrées et provenant des mines de la Compagnie d'Aïn-Barbar (Algérie), où l'auteur de la présente Conférence a eu l'occasion de créer un atelier de séparation magnétique.

» Il y a vingt ans, ces mines, situées au bord de la mer près de Bône, n'étaient exploitées que pour le cuivre; la blende contenue était rejetée aux stériles après triage. Il y a une dizaine d'années, la Société de la Vieille Montagne a loué les mines pour une période de cinq ans et n'en a retiré que la blende, en commençant par celle qui se trouvait dans les résidus. Plus tard, on a essayé une séparation chimique du cuivre et du zinc, mais sans succès. Enfin, je me suis décidé pour la séparation magnétique après m'être assuré par des expériences entreprises sur ces minerais, aussi bien avec les appareils Wetheril-Rowand à Kalk, qu'avec les appareils de Mechernich, des résultats pratiques de ces opérations. Quant à leur prix de revient, il ne dépasse pas 3 fr par tonne de produit.

» A Kalk près Cologne, au laboratoire de la Société Humboldt, on avait fait un premier essai sur 80 kg de minerai enrichi après grillage et classement préalables. Le classement produisait les quatre grosseurs suivantes :

Classe n°	I.....	tamis n°	6 à 10
—	II.....	—	10 à 20
—	III.....	—	20 à 40
—	IV.....	—	40 et plus fin.

» Chaque classe fut traitée séparément sur une machine Rowand munie de quatre pôles. On réalisait le schéma suivant :

Minerai initial.				
Pôle 1.	Pôle 2.	Pôle 3.	Pôle 4.	Non magnétique.
Produit cuivreux n° I	Produit cuivreux n° II		Produit mixte à repasser	Blende

» L'appareil pouvait traiter :

Classe n°	I.....	500 kilogrammes par heure
—	n° I'	700 —
—	n° III	600 —
—	n° IV	300 —

» Après le traitement des quatre classes, on a mélangé les produits correspondants qui donnaient les analyses finales suivantes :

Produit.	Poids en kg.	Cu en pour 100.	Zn en pour 100.
Initial	80,00	6,7	25,4
Après grillage.....	»	8,4	28,2
Produit cuivreux magnétique n° I...	24,82	18,57	8,69
— — — n° II...	8,20	11,54	13,60
Produit mixte.....	5,39	5,65	23,38
Blende non magnétique....	41,63	1,95	41,05

» On avait donc deux bons produits cuivreux et un bon produit blendeux. Il restait 7 pour 100, comme produit mixte trop enchevêtré que l'on devait broyer à nouveau et repasser avec le nouveau minerai.

» Un essai sur 15 tonnes de minerai a sensiblement confirmé ces résultats, qui sont d'autant meilleurs qu'il n'avait pas été effectué de lavage préalable.

» Les éléments magnétiques et électriques de la machine employée étaient les suivants :

» Deux paires d'électro-aimants et autant de bobines dont chacune ayant 4896 spires en 34 couches superposées de fil de cuivre

de 2 mm de diamètre. Longueur de la bobine : 330 mm. Diamètre du noyau : 40 cm. Résistance de chaque bobine : 2 ohms. Longueur de chaque entrefer : 12 mm, avec des pièces polaires de 36 cm de longueur. La largeur de la pièce inférieure : 150 mm et la pièce supérieure qui est biseautée : 3 mm. Longueur du circuit magnétique : 2,1 m. Courant d'excitation pour les premier et deuxième pôles : 2,5 ampères. Courant d'excitation pour les troisième et quatrième pôles : 6 ampères.

RÉSULTAT DES ESSAIS DE MECHERNICH SUR LE MÊME MINÉRAI.

» Après léger grillage préalable, le minéral classé était passé par un appareil double, ayant 200 mm de largeur polaire et des entrefers de 10 mm.

» Les produits du classement ont présenté les poids et grosseurs suivants :

Grosneur I de 4 mm à 2 mm.....	568 kg
— II de 2 mm à 0,5 mm.....	570
— III de 0,5 à 50 mailles.....	1321
— IV poussière.....	366
Total.....	2825

» Les courants d'excitation employés étaient de :

1,5 ampère	pour les grosseurs I et II
1,2 —	pour la grosseur III
0,75 —	pour la grosseur IV.

» Après traitement, les mélanges des produits correspondants des différentes classes ont donné les chiffres d'analyse du Tableau suivant :

Produit.	Poids en kg.	Cu en pour 100.	Zn en pour 100.	Fe en pour 100.
Initial après grillage.....	2825	5,4	23,0	15,8
Produit cuivreux.....	861	13,5	8,16	33,5
Produit mixte.....	123	12,05	14,05	22,21
Blende après lavage.....	1841	1,78	40,55	12,87

» En présence de ces résultats à peu près équivalents, on a décidé l'emploi des deux systèmes à Aïn-Barbar et l'on a installé deux appa-

reils Rowand et un appareil double Meckernich, ce dernier notamment pour le traitement des produits fins.

» Pour terminer, nous indiquerons quelques résultats intéressants obtenus industriellement par la séparation magnétique de minerais et dont les chiffres ont été communiqués par la Metallurgische Gesellschaft à Francfort.

» 1° *Minerai de cuivre mexicain.* — Ce minerai lavé était composé de chalcopryrite et de grenat. La séparation a fourni

70 pour 100 de grenat à 0,3 pour 100 de Cu

et

30 pour 100 de produit cuivreux à 19,8 pour 100 de Cu.

» Comme le minerai initial contenait 6,3 pour 100 Cu, il s'ensuit que la séparation magnétique a permis la récupération de 96,6 pour 100 du Cu total.

» 2° *Blende et carbonate de fer de Siegerland.* — Ce minerai allemand fut broyé à 5 mm et passé à la laverie. La séparation sur une machine Wetheril à trois pôles, dont un double, fournissait, avec un courant d'excitation de 3 ampères sous 15 volts, les résultats suivants :

68,4 pour 100 de carbonate de fer contenant....	5,45 pour 100 de Zn
31,6 — de blende —	53,46 —

» Le minerai initial avait une teneur de 20 pour 100 de Zn en moyenne, par conséquent la récupération du Zn était de 82 pour 100.

» 3° *Minerai espagnol d'étain et de tungstène.* — 9690 kg de ce minerai, lequel, après lavage, donnait à l'analyse une teneur de 48,5 pour 100 de Sn et 22,5 pour 100 d'acide tungstique ou wolframite (TuO^3) furent d'abord débarrassés du fer sur un appareil pour produits fortement magnétiques.

» Ils furent passés ensuite sur un appareil Wetheril excité avec un courant de 10 ampères sous 50 volts, puis sur un deuxième appareil de 6 ampères sous 30 volts.

Résultat final.

Composition
en
pour 100.

0,5 de fer

30,7 de wolframite contenant.... 0,8 pour 100 Sn et 73,2 pour 100 TuO^3

68,5 de cassitérite — 70,5 — et 1,1 —

» Donc, 97 pour 100 du Tu et 98,5 pour 100 du Sn ont pu être récupérés, ce qui constitue une séparation pratiquement complète de ce minerai difficile.

» 4° *Minerai de cuivre carbonaté espagnol*. — Ce minerai, composé de malachite, lazurite et dolomie, contenait 2,9 pour 100 Cu. Par le traitement à la machine Rowand à 18 ampères sous 90 volts et ensuite à la machine Wetheril à 14 ampères sous 70 volts, on a pu obtenir :

12,6 pour 100 de minerai cuivreux à.....	17,2 pour 100 de Cu
85,4 — de stérile contenant.....	0,75 —

ce qui correspond à 75,5 pour 100 de récupération.

» 5° *Sable monazite américain*. — On a d'abord extrait sur les deux premiers pôles d'une machine Rowand à quatre pôles, le fer titanique et, sur les deux derniers pôles, le grenat.

» La partie faiblement magnétique a passé ensuite sur un appareil Wetheril séparant la monazite comme produit magnétique du quartz et de l'anatas qui ne le sont pas. Voici le résultat :

Composition en pour 100.	
24	de fer titanique,
23	de grenat,
45,5	de monazite,
7	de quartz et anatas.

» La monazite contient le thorium et le cérium et autres métaux rares employés pour la confection des manchons Auer.

» 6° *Résidus (Tailings) de Brokenhill*. — Ce minerai australien se compose de grenat, galène, blende et quartz. Il est traité en Australie sur des appareils à doubles *rouleaux*. Le premier rouleau sépare le grenat, le deuxième la blende.

» Le quartz et la galène vont dans le compartiment non magnétique et sont ensuite séparés par un traitement hydromécanique. Les résultats sont :

Composition en pour 100.		Teneur en Zn en pour 100.
24,1	de grenat.....	7,9
6,4	de produit mixte.....	24,8
56,5	de blende.....	43,3
11,7	de quartz et galène.....	8,6

soit une récupération de 83,5 pour 100 du zinc contenu dans le minéral initial et vendable comme blende à 43 pour 100 de Zn. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Korda de sa Communication qui met au point la question de la séparation électrique des minerais.

M. le PRÉSIDENT. — « Messieurs, c'est pour moi un agréable devoir de rendre ici un public hommage aux lauréats du prix Nobel, M. Henri Becquerel et M. et M^{me} Curie, membres de la Société, et de leur envoyer nos cordiales félicitations que vous voudrez bien, j'en ai la certitude, sanctionner par vos applaudissements unanimes. (*Applaudissements prolongés.*)

» Je suis heureux aussi de signaler l'accueil sympathique et chaleureux fait à votre Président par l'*Institution of electrical Engineers*, le 9 décembre dernier, au banquet que nos collègues anglais organisent chaque année, banquet auquel votre Président avait accepté de représenter la *Société internationale des Électriciens*.

» Enfin, M. A.-E. Kennelly, secrétaire général du Comité d'organisation du *Congrès international des Électriciens* qui se tiendra à Saint-Louis au mois de septembre de cette année, nous a envoyé une invitation à y participer individuellement. L'adhésion à ce Congrès, dont les *Procès-verbaux* constitueront une publication des plus importantes, est de cinq dollars. La *Société des Électriciens* se chargera de transmettre les adhésions des membres de la Société au Comité d'organisation du Congrès. »

La séance est levée à 10^h40^m du soir.

CORRESPONDANCE.

Paris, le 30 décembre 1903.

Monsieur le Président de la Société internationale des Électriciens.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

A propos de la communication très intéressante de M. Brunswick, rapporteur de la sixième section, sur l'utilité des micrographies pour l'examen magnétique du fer, j'ai l'honneur d'appeler l'attention de ceux de mes collègues que la question intéresse, sur un travail que j'ai présenté au Congrès international de Chimie appliquée, en 1896, section VIII, Métallurgie (T. III, p. 410-416). J'y ai soulevé le premier cette question en traitant le cas de plusieurs sortes d'acier qui, d'une composition très peu différente, donnaient lieu à des nombres de tours très différents pour des électromoteurs établis avec des dimensions pourtant identiques. L'étude microscopique de ces aciers, ainsi qu'on le voit sur les microphotographies publiées dans mon Rapport, dévoilait des différences tellement nettes dans la structure de ces aciers qu'elles seules suffissent pour expliquer leur divergence au point de vue de la perméabilité magnétique.

Veillez agréer, Monsieur le Président, l'expression de mes sentiments dévoués.

Désiré KORDA.

INFORMATIONS.

Prix décernés par l'Académie des Sciences.

PRIX HUGHES. — *M. Picard (P.)*.

Perfectionnements introduits dans la Télégraphie, perfectionnements qui ont eu pour effet d'augmenter la rapidité des transmissions sur les câbles sous-marins et de permettre l'emploi des appareils imprimeurs à la réception.

PRIX GASTON PLANTÉ. — *M. Hospitalier*.

Pour l'ensemble de ses Travaux et en particulier pour l'appareil enregistreur dit *Ondographe*.

PÉRIODIQUES ÉTRANGERS.

MÉMOIRES ORIGINAUX.

ALLEMAGNE.

Elektrotechnische Zeitschrift.

8/10. Courant continu pris sur un réseau alternatif; *K. Sterzel*. — Nouveau générateur compound triphasé; *E. Kolben*. — Nouvelle résistance en graphite; *R. Hopfelt*.

15/10. Rôle des amortisseurs dans la marche en parallèle; *E. Rosenberg*. — Sur un interrupteur à temps; *H. Steidle*.

22/10. Moteur monophasé sans décalage; *M. Latour*. — Pertes dans les câbles à haute tension; *R. Apt* et *C. Mauritius*. — Montage pour assurer le secret des correspondances téléphoniques; *I. Saltzer*.

29/10. Station orientale de Copenhague; *C. Hentsen*. — Formules pour les projets de machine; *A. Sengel*. — Diagramme circulaire du moteur à répulsion; *M. Osnos*.

5/11. L'Électrotechnique en Espagne; *P. Blumenthal*. — Compoundage des générateurs asynchrones; *A. Heyland*. — Mesureur d'ondes et son emploi; *I. Dönitz*.

Zeitschrift für Elektrotechnik und Maschinenbau.

1/11. Machine à faire les jonctions de conducteur; *S. Herzog*.

AMÉRIQUE.

Electrical World and Engineer.

2/10. Tableaux pour courants alternatifs... (*suite*); *S. Hayes*. — Leçons de choses sur les récepteurs téléphoniques; *A. Abbott*. — Charge résiduelle d'un condensateur; *J. Cort*. — Moteurs à courant continu à grande variation de vitesse; *A. Hemingway*. — Dock flottant manœuvré électriquement; *T. Donnelly*.

10/10. Essai de construction d'un transformateur électrostatique; *I. Yves*. — Mesure des puissances polyphasées; *H. Jeannin*. — Tableaux... (*suite*); *S. Hayes*. — Leçons... (*suite*); *A. Abbott*.

17/10. Tableaux... (*suite*); *S. Hayes*. — Leçons... (*suite*); *A. Abbott*.

24/10. Tableaux... (*fin*); *S. Hayes*. — Système Stone de télégraphie sans fil; *L. Duncan*. — Essai photométrique sur la lampe Nernst.

31/10. Méthode d'essai pour grands alternateurs à pleine charge; *B. Behrend*. —

Notes sur certains systèmes à trois fils; *C. Mosman*. — Ampèremètre enregistreur; *A. Armstrong*. — Essais de brûleurs Auer.

Journal of the Franklin Institute.

NOVEMBRE 1903. — Quelques points pratiques pour le calcul des dynamos; *C. Poole*. — Décharges statiques dans les circuits; *P. Thomas*.

ANGLETERRE.

The Electrician.

23/10. Radioactivité; *F. Soddy*. — Bases pour la comparaison des dynamos; *W. Esson*. — Notes sur quelques installations électrogènes avec turbine à vapeur; *G. Wilkinson*. — Résistance à la traction sur route.

30/10. Radioactivité... (*suite*); *F. Soddy*.

6/11. Radioactivité... (*suite*); *F. Soddy*.

Electrical Review.

9/10. Premiers secours en cas d'accidents; *I. Mc. Gowan*.

16/10. Moteurs-générateurs et commutatrices; *H. Hobart*.

23/10. Moteurs-générateurs... (*fin*); *H. Hobart*.

6/11. Moteurs monophasés; *G. Finzi*.

AUTRICHE.

Zeitschrift für Elektrotechnik.

11/10. Calcul graphique des lignes alimentant des commutatrices; *A. Hruschka*. — Balais mobiles dans l'huile; *M. Osnos*. — Rendement d'une station centrale typique américaine avec réseau de 320^{km}; *F. Welz*.

18/10. Calcul... (*fin*); *A. Hruschka*. — Démarrage et réglage des moteurs asynchrones; *M. Osnos*. — Caractéristiques des systèmes de télégraphie sans fil; *A. Prasch*.

25/10. Progrès de l'Électrotechnique; *M. Breslauer*. — Caractéristiques... (*fin*); *A. Prasch*.

1/11. Diagramme du travail d'un circuit électrique; *I. La Cour*. — Enroulements à section variable; *H. Schlichting*.

8/11. Diagramme... (*suite*); *I. La Cour*.



BIBLIOGRAPHIE.

Propagation de l'Électricité. Histoire et Théorie, par M. MARCEL BRILLOUIN.

L'Ouvrage de M. Brillouin, presque entièrement théorique, comprend quatre Parties. La première est un historique complet des études faites depuis la fin du siècle dernier jusqu'à nos jours sur la propagation de l'Électricité; elle débute avec les recherches de Cavendish, qu'on ne saurait trop admirer encore aujourd'hui, et va jusqu'aux travaux de Kirchhoff et Clausius. La deuxième est consacrée à l'étude des courants permanents ou des régimes variables, dans les limites où l'on peut négliger les phénomènes d'induction; c'est surtout au point de vue de la propagation dans des milieux à trois dimensions que sont étudiés les courants permanents; on pourra peut-être trouver là des renseignements utiles sur les questions de retour des courants par la terre; quant au régime variable, il est étudié spécialement au point de vue de la propagation dans les câbles. Le Livre III est consacré à l'étude de l'induction et à ses applications aux cas des conducteurs cylindriques parallèles, des bobines cylindriques et des bobines sphériques. Il se termine par l'étude de la propagation du courant dans des circuits présentant de la capacité et de la self-induction. Le Livre IV, élargissant la question de la propagation proprement dite de l'Électricité, aborde l'étude difficile, fondée sur les travaux de Maxwell et de Hertz, du rayonnement des forces électriques dans l'espace; c'est là l'aspect le plus moderne des questions de propagation, qu'il n'est plus permis aujourd'hui de passer sous silence : on y trouvera, en particulier, traité complètement, soit au point de vue de la période, soit au point de vue de l'amortissement, le problème difficile des oscillations électriques dans un ellipsoïde de révolution.

L'Ouvrage de M. Brillouin n'est que le premier d'une série qui aboutira à la théorie des électrons que l'auteur considère comme fondée dès aujourd'hui sur une solide base expérimentale; il sera consulté avec grand fruit et intérêt par tous ceux qui désirent approfondir l'étude théorique de l'Électricité.

Résistance des matériaux, par M. M. DUQUESNAY; 1 vol. Paris, Gauthier-Villars et Masson et C^{ie}.

L'Encyclopédie des Aide-Mémoire vient de faire paraître la 2^e édition de cet Ouvrage, dont la place est marquée dans la Section de l'Ingénieur.

Sous le format adopté pour les Ouvrages de la remarquable Collection, le nouveau Volume résume tous les travaux ayant trait à cette branche de la Mécanique appliquée, qui a pour objet l'étude des déformations auxquelles les pièces solides sont exposées dans les constructions et la recherche des tensions moléculaires qui se développent dans ces pièces sous l'action de forces extérieures.

La première Partie, essentiellement théorique, expose et discute les différents cas

auxquels on peut assujettir les matériaux : extension et compression, cisaillement, flexion, torsion, résistances composées, etc., ainsi que les conditions de stabilité des maçonneries et la poussée des terres.

La deuxième Partie contient un grand nombre de formules, méthodiquement classées et appuyées de graphiques, qui dispenseront le plus souvent de recourir aux auteurs français et étrangers ayant traité la question : Resal, Collignon, Burr, Tresca, Contamin, Madamet et autres savants théoriciens et praticiens.

De multiples exemples d'application à la résistance des câbles, des rivures, des arbres, des colonnes, des canons frottés et des murs de soutènement forment la troisième partie du volume que terminent des calculs et des remarques sur l'action des ressorts.

Électrothérapie dentaire, Cours professé à l'École dentaire de Paris,
par le D^r FOVEAU DE COURMELLES; 1 volume. Paris, A. Maloine, 1904.

« On comprend, en lisant cet Ouvrage, dit le D^r Ch. Godon qui en a écrit la Préface, la place que l'électrothérapie est appelée à prendre dans la pratique odontologique; mais en voyant la technique complexe qu'elle exige et en se rendant compte que la cause principale des insuccès de la plupart des praticiens est due à l'insuffisance des notions sur l'électricité médicale, nous ne pouvons qu'applaudir à la publication de ce Volume sur l'*Électrothérapie dentaire* et lui souhaiter tout le succès qu'il mérite. »

En se bornant à citer les têtes de Chapitre de son Cours, on voit, en effet, que M. le D^r Foveau de Courmelles y a traité les questions suivantes : définition et électrolyse, anesthésie dentaire électrolytique, physiologie et accidents des courants, la bobine de Ruhmkorff, courants de haute fréquence, production des rayons X, la radioscopie, la radiographie, enfin lumière, photothérapie et radiothérapie.

Si étendu que soit ce programme pour la réalisation duquel M. de Courmelles fournit une si persévérante collaboration, tant en professant à l'École dentaire de Paris, qu'en publiant des Ouvrages sur les applications médicales de l'électricité, l'auteur ne croit pas, cependant, en avoir atteint la limite, limite que reculent tous les jours de nouvelles découvertes, car il termine son Livre par cette remarque qui contient un appel : « Il est donc important que les spécialistes, les électrothérapeutes, ne se bornent pas à un seul point de vue; il y a grand intérêt à ce que chacun de nous diffuse ses connaissances et ses remarques pour en faire bénéficier toutes les branches de notre art, dont l'Odontologie n'est pas la moindre.

LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

France.

- Annuaire pour l'an 1904 publié par le Bureau des Longitudes, avec des Notices scientifiques*; Paris, Gauthier-Villars, 1904; 1 vol. in-32, broché. (*Don de l'Éditeur.*)
- A travers l'Électricité* (3^e édition), par GEORGES DARV; Paris, Nony et C^{ie}, 1903; 1 vol. grand in-4°, broché, avec 377 figures. (*Don des Éditeurs.*)
- Conférences d'Électricité industrielle. Première année. Principes d'Électrotechnique*, par A. BEGHIN; Roubaix, Henri Sénécaut; Paris, Veuve Ch. Dunod, 1903; 1 vol. in-4°, broché, avec figures. (Publications de l'École nationale des Arts industriels de Roubaix.) (*Don de l'Auteur.*)
- Diagrammes et surfaces thermodynamiques*, par J.-W. GIBBS. Traduction de M. G. ROY, avec introduction de M. B. BRUNES; Paris, C. Naud, 1903, 1 vol. in-8° écu, cartonné, avec 18 figures. (Collection *Scientia*, série physico-mathématique, n° 22.) (*Don de l'Éditeur.*)
- Électricité (L') dans les Mines en Europe*, traduit de *The Engineering Magazine*, par ÉMILE GUARINI; Bruxelles, Ramlot frères et sœurs, s. d. (1903); 1 broch. in-8°, avec 30 photographies dans le texte. (*Don de l'Auteur.*)
- Électrothérapie dentaire*, Cours professé à l'École dentaire de Paris par le Dr FOVEAU DE COURMELLES. Préface par le Dr CH. GODON; Paris, A. Maloine, 1904, 1 vol. petit in-8° broché, avec 33 figures dans le texte. (*Don de l'Auteur.*)
- Législation des chutes d'eau, sources, rivières, cours d'eau non navigables*, 2^e édition, entièrement refondue et augmentée, par PAUL ROUGAULT; Grenoble, A. Gratier et J. Rey, 1904; 1 vol. grand in-8°, broché. (*Don des Éditeurs.*)
- Note sur un appareil télégraphique multiple de la Société des télégraphes multiplex*, par H. MAGUNNA; Paris, imprimerie L. Braun, 1903; 1 broch. petit in-8°, avec 1 planche hors texte. (*Don de l'Auteur.*)
- Notions fondamentales d'Électricité industrielle. leçons professées à l'Institut électrotechnique de l'Université de Grenoble. Première partie, Tome II* (1^{er} fascicule), par J. PIONCHON; Grenoble, A. Gratier et J. Rey, s. d. (1903); 1 vol. in-8°, broché, avec figures. (*Don des Éditeurs.*)

Transport et distribution de l'énergie par courants continus et alternatifs.

Description du matériel. Calcul des lignes aériennes, par CH. GRUET; Paris, Ch. Béranger, 1904; 1 vol. in-8°, relié toile, avec 48 figures dans le texte. (*Don de l'Éditeur.*)

Ville de Paris. Secteur municipal d'Électricité. Fonctionnement en 1902.

Historique depuis la création; Paris, imprimerie Chaix, 1903; 1 vol. grand in-8°, broché. (*Don de M. Lauriol.*)

Étranger.

Die für Technik und Praxis wichtigsten physikalischen Grössen in systematischer Darstellung, sowie die algebraische Bezeichnung der Grössen, physikalische Masssysteme. Nomenklatur der Grössen und Masseinheiten, von OLOF LINDERS; Leipzig, Verlag von Jäh und Schunke, 1904; 1 vol. in-8°, relié toile, avec figures. (*Don de l'Auteur.*)

La tecnica delle correnti alternate, par GIUSEPPE SARTORI. Vol. 1; Milano, Ulrico Hœpli, 1903; 1 vol. in-8°, broché, avec figures. (*Don de l'Éditeur.*)



BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Procédés de réglage de la vitesse des moteurs à courant continu (M. **Brunswick**), p. 53. — Moteurs à courants alternatifs à vitesse variable sans altération de rendement (M. **Marius Latour**), p. 63. — *Discussion* (MM. **Boucherot**, **Brunswick**), p. 71. — Régulateur électrique (M. **Gin**), p. 78. — *Discussion* (M. **Bochet**), p. 119. — Recherches sur l'arc électrique à courant alternatif exécutées au Laboratoire central d'Électricité (M. **Laporte**), p. 121.

EMPRUNT; numéros des titres remboursables, p. 52.

Erratum, p. 120.

BIBLIOGRAPHIE, p. 164.

OUVRAGES OFFERTS, p. 165.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 3 février 1904 (1).

PRÉSIDENCE DE M. E. HOSPITALIER.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir.

Le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts (*voir* p. 168), et des demandes d'admission suivantes :

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MM.

- Aubin** (Robert-Gustave-Victor), Enseigne de vaisseau, Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 45, avenue Duquesne, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Barnéoud** (Louis-Lucien), Ingénieur à la *Société Postal-Finay*, 10, rue Thiers, à Reims. — Présenté par MM. Mix et Bunet.
- Berthelot** (Paul-Alfred-Daniel), Professeur à l'Université de Paris, 3, rue Mazarine, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Poincaré.
- Boulitte** (Georges), Attaché au *Service électrique du chemin de fer d'Orléans*, 54, rue de la Clé, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Brémaud** (Eugène), Ingénieur-Électricien, 6, rue Fromentin, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Busset-Schiller** (Paul), Ingénieur-Électricien, 21, boulevard Saint-Michel, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Hospitalier.
- Cahen** (Louis-David), Élève-Ingénieur des Télégraphes, 43, rue Saint-Pétersbourg, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Canet** (Paul-Adolphe), Attaché aux *Ateliers de constructions électriques* de MM. Schneider et C^e, à Champagne-sur-Seine, 20, rue Neuve, à Thomery (Seine-et-Marne). — Présenté par MM. Canet (G.) et Janet.
- Danis** (Jean), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 2, rue des Volontaires, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Debout** (Achille), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 8, rue Edme-Guillout, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Ferrier** (Paul), Ingénieur à la *Société Electrochimique de la Romauche*, à Échirrolles, près Grenoble. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Fleury** (Pierre-Marie-Louis), Ingénieur à la *Société anonyme d'éclairage par le gaz et par l'électricité de la ville de Clermont-Ferrand*, 14, rue Blatin, à Clermont-Ferrand. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Gaillard** (Henri), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 8, rue Edme-Guillout, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Girousse** (Gaston), Élève-Ingénieur des Télégraphes, 76, rue de la Pompe, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Grandjean** (Jules), Ingénieur aux *Chantiers et ateliers de Provence*, 9, cours Lieutaud, à Marseille. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Grivet** (René), Chef du Service électrique à la *Société anonyme des hauts-fourneaux, forges et aciéries de Denain et d'Anzin*, 39, rue Duquesnoy, à Denain (Nord). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Guesde** (Marie), Ingénieur-Chef de la *Station centrale électrique de Tunis; usine à gaz*, à Tunis. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Huber** (Michel), Ingénieur civil, ancien Élève des *Écoles Polytechnique et supérieure d'Électricité*, 16, rue Cardinal-Lemoine, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Johann** (Charles-Nicolas-Pierre), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, Diplômé de l'*École pratique d'Électricité industrielle*, 20, rue Louis-Braille, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- La Chapelle** (Gabriel de), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 71, rue du Cherche-Midi, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

MM.

- Lampstaes** (Camille-Joseph), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 13, rue du Sommerard, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Landrin** (Paul), Ingénieur, 127, boulevard Malesherbes, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Léone** (Laurent), Élève-Ingénieur R. Université de Cagliari, à Cagliari (Sardaigne). — Présenté par MM. Harlé et Hospitalier.
- Lescure** (Jean-Joseph), Capitaine du Génie, *Fort du mont Valérien*, 38, rue des Verjus, à Suresnes. — Présenté par MM. Dumont et Routin.
- Loye** (Georges), ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur aux études financières du *Crédit Lyonnais*, 41, rue Saint-Georges, à Paris. — Présenté par MM. Janet et L. Joly.
- Mailloux** (G.-O.), Ingénieur-Électricien Conseil, 78. William Street, à New-York (U. S. A.). — Présenté par MM. Hospitalier et Violet.
- Mélard** (Léon), Ingénieur des Poudres et Salpêtres, 83, rue de l'Université, à Paris. — Présenté par MM. Boutin et Liouville.
- Morel** (Charles), Attaché au Cabinet d'Ingénieur civil de M. P. Germain, 22, rue Malouet, à Rouen. — Présenté par MM. Janet et Bourguignon.
- Nedeff** (Nedeltscho), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, Officier de la Marine bulgare, 86, rue Vaneau, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Neyreneuf** (Pierre-Vincent), Ingénieur à la *Compagnie française des câbles télégraphiques*, 218, boulevard Raspail, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Pallier** (Félix), Ingénieur, Chef d'atelier à la *Société centrale d'Électricité*, 57, rue Sainte-Croix-de-la-Bretonnerie, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Carpentier.
- Petit** (Gaston-Émile), Élève-Ingénieur des Télégraphes, 63, rue des Saints-Pères, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Poncet** (René-Gabriel), Ingénieur chez MM. *Lacroix et C^{ie}, constructeurs à Tours*, 33, rue Eupatoria, à Tours. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Ragonot** (Edmond), Ingénieur-Électricien, 12, quai de la Rapée, à Paris. — Présenté par MM. Blondel et Ferrié.
- Rocheport** (Octave), Ingénieur-Électricien, Associé à la *Maison d'Électricité et d'Automobile Mors*, 39, rue Cortambert, à Paris. — Présenté par MM. Blondel et Turpain.
- Roussel** (Alfred), ancien Élève de l'*École supérieure d'Électricité*, Sous-Inspecteur des Services électriques du *Chemin de fer du Nord*, à Saint-Quentin (Aisne). — Présenté par MM. Janet et Sartiaux.
- Roussel** (Maurice), Ingénieur à la *Société Postal-Vinay*, 65, rue Turbigo, à Paris. — Présenté par MM. Bunet et Mix.
- Saïd** (Mehmed), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, Attaché technique à l'Ambassade de Turquie, 106, boulevard Arago, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Soucadauch** (René), Ingénieur-Électricien, 1, rue Turenne, à Grenoble. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Spathari** (Cornélius), Professeur à la *Grande École nationale grecque de Constantinople*, Chemins de fer orientaux, Sirkédji-Constantinople. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

MM.

Stephens (George), Ingénieur à la *Société Postel-Vinay*, 29, rue Bertrand, à Paris. —
Présenté par MM. Mix et Bunet.

Tchernosvitoff (Nicolas), Ingénieur à la *Société l'Éclairage électrique*, 7, rue Cam-
pagne-Première, à Paris. — Présenté par MM. Blondel et Janet.

Varlanesco (Justin), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 7, rue Ernest-Renan, à
Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Vienot (Gaston-Émile-Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, Chef des Services
électriques à la *Compagnie du gaz de Reims*, 10, rue du Grenier-à-Sel, à Reims.
— Présenté par MM. Harlé et Janet.

Vilhem (Fernand-Émile), Entrepreneur de Serrurerie d'Art et d'Électricité, 39, rue
du Marché, à Neuilly-sur-Seine. — Présenté par MM. Grosselin et Sabourain.

Vincent (Paul), Ingénieur-Électricien à la *Société anonyme Westinghouse*, 10, rue
Casimir-Delavigne, Le Havre. — Présenté par MM. Janet et Delas.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société interna-
tionale des Électriciens.

Il est fait part du décès de MM. *Ténicheff* et *Saglio*, membres de la
Société.

M. le PRÉSIDENT annonce que, conformément à une décision du
Comité d'administration, il a été procédé au tirage au sort de
30 titres pour l'amortissement annuel de l'emprunt. Les numéros
ci-dessous sortis à ce tirage seront remboursés au siège social,
14, rue de Staël, à partir du 1^{er} avril prochain.

4	112	227	449	537
18	119	229	455	546
28	129	291	478	550
30	136	321	484	561
32	156	369	486	578
109	165	410	510	581

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

PROCÉDÉS DE RÉGLAGE DE LA VITESSE DES MOTEURS A COURANT CONTINU.

M. BRUNSWICK. — « Le présent sujet est, à l'heure actuelle, bien épuisé, et ne comporterait, considéré isolément, que des considérations élémentaires superflues, s'il ne devait servir de prologue à la communication plus importante et plus savante de notre collègue M. Latour.

» Un résumé des divers procédés usités pour le réglage de la vitesse des moteurs à courant continu permettra un rapprochement comparatif avec ceux mis en œuvre pour le même objet dans les applications des courants alternatifs.

» Jusqu'à ces derniers temps, le moteur à courant continu a pour ainsi dire exclusivement seul répondu aux desiderata les plus complexes que l'on puisse formuler dans les projets de distribution et dans le choix à intervenir; il est classique de faire valoir, comme argument suprême en faveur du courant continu, la *souplesse* des moteurs de ce genre en ce qui concerne le réglage de la vitesse.

» Nous apprendrons probablement sous peu dans quelle mesure cette propriété est partagée maintenant par les moteurs à courant alternatif.

» Le moment est donc propice pour jeter un rapide coup d'œil sur l'efficacité et le coût des moyens dont nous disposons pour donner au moteur à courant continu la souplesse en question. Le but à atteindre et la dépense ne devant jamais, en effet, être perdus de vue.

» Lorsque le réglage de la vitesse doit s'opérer graduellement dans des limites assez étroites, tout moteur électrique normalement construit est susceptible de satisfaire au problème, sans artifices spéciaux et sans entraîner une utilisation anormale de la matière.

» Par limites étroites, nous entendons ici les variations de vitesse extrêmes comprises entre les rapports 1,5, 1,75 et même 2.

» A cet égard on peut dire que le problème est résolu sans difficulté dans les meilleures conditions : puissance massique élevée et rendement sensiblement indépendant de la vitesse, calage fixe des balais, échauffement admissible, c'est-à-dire conformément aux stipulations que l'on rencontre dans les cahiers de charges usuels.

» Le problème devient plus délicat à envisager lorsqu'il s'agit de réaliser le réglage de la vitesse entre des limites très éloignées.

» La solution à adopter est, avant tout, un cas d'espèce et en ce qui concerne les applications on peut grouper les moteurs en trois catégories comprenant respectivement :

» 1° Les moteurs devant fonctionner à puissance constante, indépendamment de la vitesse, le couple à développer variant en raison inverse de la vitesse; c'est le cas le plus général de la commande individuelle des machines-outils;

» 2° Les moteurs à puissance variable avec la vitesse, le couple à développer restant constant; c'est le cas des appareils à production proportionnelle à la vitesse, transmissions simples, etc.;

» 3° Les moteurs à puissance variable, dont le couple doit croître avec la vitesse; les moteurs destinés à entraîner des appareils centrifuges rentrent dans cette catégorie.

» Pour être complète, la nomenclature devrait mentionner également les moteurs à puissance variable, décroissant en raison inverse de la vitesse. Les *moteurs série* remplissent parfaitement ce but dont on n'a guère à se préoccuper que pour des applications très restreintes, pour certaines manœuvres de treuils par exemple.

» Dans les applications, on demande fréquemment aujourd'hui des variations de 1 à 3, 1 à 5 et au delà.

» Voyons sommairement comment on peut les réaliser *et ce qu'il en coûte*.

» La relation fondamentale

$$E = Nn\Phi, \quad \text{d'où} \quad n = \frac{E}{N\Phi}$$

permet de classer les procédés suivant que l'on opère sur l'un quelconque des termes de l'expression.

» Dans cette expression :

E représente la force électromotrice induite;

N » le nombre des conducteurs induits;

n » la vitesse angulaire en tours par seconde.

Si nous négligeons dans ce qui va suivre les chutes ohmiques de tension, E représentera indifféremment la force électromotrice ou la différence de potentiel aux bornes.

» 1° *Réglage de la différence de potentiel aux bornes.* — La vitesse

peut être réglée en modifiant la tension aux bornes de l'induit. Nous n'insisterons pas sur le procédé consistant à insérer un rhéostat en série dans l'induit et dont le rendement ne pourrait être que déplorable.

» On peut brancher le moteur sur des circuits à tensions différentes. Il faut en ce cas des réseaux spéciaux à 3 ou 5 fils ; la variation n'est obtenue que par à-coups ; ce système ne satisfait donc pas par lui-même au problème du réglage graduel.

» On obtient un réglage graduel par l'usage de dynamos survoltrices.

» Le réseau étant à tension constante, on établit une machine auxiliaire le plus souvent jumelée avec la génératrice principale. L'excitation de cette machine auxiliaire varie dans de larges limites ; l'induit est en série avec la ligne du moteur.

» Moyennant quelques précautions, le courant total du moteur peut traverser la survoltrice, même lorsque celle-ci travaille à champ nul.

» Ce système a été appliqué surtout avec facilité à la commande de moteurs à couple croissant avec la vitesse ou à couple constant. En faisant fonctionner la machine auxiliaire en dévoltrice, on peut appliquer, dans les mêmes conditions, le même procédé aux moteurs à puissance constante et vitesse variable.

» Remarquons que ce moyen, qui consiste à agir, en somme, sur la tension de la génératrice, n'est applicable qu'au réglage de la vitesse d'une seule unité. Ce n'est plus un système général, mais tout à fait individuel ; les applications en sont forcément limitées. On peut toutefois obtenir ainsi des variations extrêmement étendues.

» En papeterie notamment, il existe nombre d'applications de ce genre où l'on a pu réaliser des vitesses extrêmes dans le rapport de 20 à 1, avec un fonctionnement excellent.

» Le rendement du moteur reste sensiblement le même à toutes les vitesses ; la puissance massique est convenable, mais il conviendrait de faire entrer en ligne de compte le rendement de la machine génératrice auxiliaire. Finalement, le système est susceptible de rendre des services pratiques, mais à la vérité le rendement réel est très affecté par les variations de régime.

» 2° *Réglage du nombre des conducteurs induits en série.* — Dans

ce cas, on emploie des induits munis de deux enroulements et de deux collecteurs qu'on groupe en série ou en quantité.

» On n'obtient encore que deux échelons de vitesse; le rendement ne varie sensiblement pas en passant d'un régime à l'autre. En travail à puissance constante, l'utilisation est mauvaise, chaque enroulement devant être prévu pour le courant total. En combinant le genre de construction avec un réseau à trois ou cinq fils, on peut multiplier le nombre des échelons sans arriver encore à la solution complète.

» 3° *Variation du flux Φ* . — On peut enfin faire varier le flux dans l'induit.

» *a.* Soit en agissant sur l'excitation; les moteurs en série se rattachent à cette catégorie;

» *b.* Soit en modifiant la réluctance du circuit magnétique;

» *c.* Soit en combinant des circuits magnétiques différentiels.

» Lorsqu'on veut obtenir un réglage graduel, c'est évidemment sur le facteur Φ qu'il faut agir. On peut combiner, et il y a souvent intérêt à cela, les deux premiers procédés avec l'un de ceux de la troisième catégorie.

» On peut voir de suite quel est le prix du réglage graduel de la vitesse. L'action sur Φ , quelle que soit la manière dont on procède, a pour effet d'utiliser des points très différents de la caractéristique à vide, à vitesse constante, de la machine considérée.

» Si l'on agit seulement sur l'excitation, il convient d'envisager deux cas.

» Ou bien le circuit magnétique est saturé pour le point A de la caractéristique correspondant à la vitesse V la plus réduite; la dépense de cuivre dans l'excitation est considérable pour obtenir ce point;

» Ou bien le circuit magnétique n'est pas saturé; la masse du fer est encore plus mal utilisée que précédemment et le poids de cuivre inducteur est encore grand; les dimensions générales sont augmentées.

» Dans les deux cas on obtient une machine coûteuse. La puissance massique devient très faible, pour un rapport $\frac{V_{\max.}}{V_{\min.}}$ très élevé.

» Le moteur doit être calculé comme s'il fournissait la *puissance*

maxima qu'il doit développer à *la vitesse minima* et pour les deux vitesses extrêmes on utilise les points A et A₁ de la caractéristique à vide. Pour fixer les idées, par exemple, un moteur développant une puissance de 10 chevaux entre 100 et 1000 tours par minute devrait avoir les dimensions d'un moteur construit pour développer cette même puissance à 100 tours par minute.

» Si la caractéristique à vide a été établie pour la vitesse V et si l'on applique au moteur une tension constante E correspon-

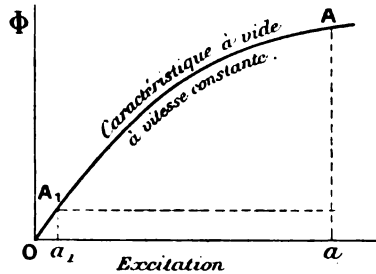


Fig. 1.

dant (*fig. 1*) au flux Aa, la vitesse obtenue, sous la même tension, pour l'excitation correspondant à A₁ sera, comme l'on sait,

$$V_1 = V \frac{Aa}{A_1 a_1}.$$

Rappelons que, si le moteur travaille à couple constant, le rendement varie peu aux différentes charges et que, si le moteur travaille à puissance constante, le rendement *s'abaisse quand la vitesse croît*.

» Voyons quels sont les procédés employés couramment :

» *a.* La variation simple de l'excitation au moyen d'un rhéostat, par exemple, est le procédé le plus pratique.

» *b.* La variation de réluctance par action sur l'entrefer a été appliquée depuis longtemps.

» M. Hillairet nous a rappelé dans une observation présentée à la suite de la Communication de M. Courbier (juillet 1903), que la variation de réluctance de l'entrefer avait été appliquée déjà en 1885.

» Des machines tant génératrices que réceptrices, à entrefer réglables, figuraient et fonctionnaient à l'Exposition de 1889 dans la station de la Société d'Éclairage et de Force par l'électricité.

» Avec des machines de ce genre, l'excitation reste, en principe, constante et égale à la valeur maxima.

» Il y a bien quelques avantages à agir sur l'entrefer, mais sans économie sensible de matière.

» Outre la complication forcée et non comparable à la simplicité d'action du rhéostat de champ, les dérivations augmentent très rapidement avec l'entrefer, en sorte qu'on perd d'un côté ce que l'on gagne de l'autre.

» Aux grandes vitesses, il y a toutefois un léger gain sur le rendement à cause de la diminution des courants parasites dans les pôles; mais, comme à ce moment le champ est très affaibli, l'économie résultante peut n'être pas très appréciable.

» Le système devient enfin de construction difficile et peu maniable pour de grandes puissances, surtout avec les machines multipolaires.

» Les raisons qui viennent d'être indiquées limitent le réglage par variation de l'entrefer à des rapports voisins de 3 à 1, qu'on obtient au même prix et sans complications avec les machines de construction ordinaire.

» c. On peut encore, en vue de certaines applications, combiner des circuits magnétiques agissant différemment sur une armature commune.

» Un dispositif de ce genre a été imaginé par M. Lanhoffer et réalisé par la Maison Bréguet, dans des machines dont le principe est le suivant (*fig. 2*) :

» Un enroulement induit B unique est disposé sur une armature constituée par deux noyaux A_1, A_2 situés respectivement entre les pôles de deux systèmes inducteurs F et V excités par une source quelconque. L'excitation de F est fixe tandis que celle de V peut, au moyen d'un rhéostat R et d'un inverseur K, prendre des valeurs variant de $+i$ à $-i$.

» Les systèmes inducteurs F et V fournissent donc des flux $+\Phi_1$ et $\pm\Phi_2$ et le flux résultant agissant sur l'induit est $\Phi_1 \pm \Phi_2$.

» Une machine de ce genre doit être calculée comme s'il s'agissait d'une machine unique devant développer la puissance maxima à la vitesse minima; les proportions à adopter, pour F et V individuellement, dépendent des limites qu'on désire atteindre dans la variation de la force électromotrice. Si l'on choisit

$$\Phi_1 = \Phi_2,$$

on voit que, si les flux agissent en opposition, une tension quelconque appliquée aux bornes de la machine fonctionnant en réceptrice donnerait théoriquement une vitesse infinie ; si les flux agissent en concordance, au contraire, on aura une vitesse minima.

» On peut donc, par ce procédé, obtenir des variations très étendues.

» Au point de vue de l'utilisation massique, ces machines sont

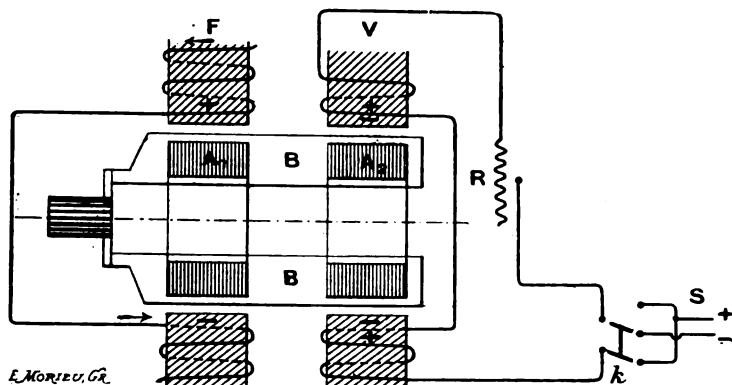


Fig. 2. — Dispositif Lanhoff.

dans les mêmes conditions que toutes celles où l'on fait varier le flux inducteur ; toutefois, elles offrent un avantage très appréciable en ce qui concerne les facilités de la commutation.

» On peut les utiliser, soit dit en passant, comme transformateurs • générateurs, en munissant le noyau A₁ d'un second enroulement aboutissant à un second collecteur. Sous cette forme, la Compagnie du Chemin de fer du Nord en a fait l'application à des générateurs de 30 kilowatts à tension variable de 100 à 600 volts pour la charge d'accumulateurs en série ; l'une des armatures comportait un enroulement récepteur muni, soit d'un collecteur recevant du courant continu, soit de bagues recevant des courants diphasés.

» En résumé, tous les procédés de réglage de la vitesse dans des limites étendues et basés uniquement sur les variations du flux ne peuvent conduire qu'à une utilisation d'autant plus médiocre de la matière que le rapport des vitesses extrêmes est plus élevé.

» Quel que soit alors le procédé, le rendement varie à peu de chose près de la même manière et, pour fixer les idées, nous indiquerons des chiffres dont l'ordre de grandeur seul est à retenir,

l'étude soignée de certains détails d'exécution permettant parfois d'atteindre des chiffres plus élevés de quelques pour cent. Nous les indiquons tel quels en faisant observer qu'on peut les considérer comme des minima très voisins de la réalité lorsque, dans les essais, on tiendra rigoureusement compte de toutes les pertes.

» Considérant ainsi un moteur d'une puissance de 10 chevaux dont la vitesse est variable entre 300 et 2000 tours par minute, on peut admettre comme réalisables les rendements suivants :

» 1° *A puissance constante :*

A 300 tours par minute	0,80 environ
A 1000 —	0,78 —
A 2000 —	0,73 —

» 2° *A puissance variable et couple constant :*

Pour 10 chevaux, à 2000 tours par minute	0,77 environ
— 7 — 1500 —	0,78 —
— 5 — 1000 —	0,78 —
— 2,5 — 500 —	0,77 —
— 1,6 — 300 —	0,68 —

» On est bien autorisé à dire que le réglage de la vitesse des moteurs à courant continu est l'opération la plus simple qu'on puisse imaginer, puisqu'un simple rhéostat y suffit et que celui-ci peut être subdivisé aisément de façon à satisfaire aux exigences d'une graduation suffisante des effets pour la pratique.

» Cette propriété est acquise au détriment de l'utilisation de la matière et en sacrifiant le rendement, lorsqu'on veut dépasser certaines limites.

» Le procédé de réglage le plus rationnel pour des écarts considérables de vitesse consiste, à notre avis, à combiner les couplages possibles sur l'induit (en munissant celui-ci de deux collecteurs) et les variations de l'excitation. On obtient ainsi à la fois l'économie de matière et la simplicité du réglage.

» Encore mieux si l'on dispose d'un réseau à trois ou cinq fils.

» En dehors des méthodes que nous avons rappelées, il en a été imaginé beaucoup d'autres restées sans applications, à raison, pour la plupart, des complications assez grandes qu'elles entraînaient. Il en est néanmoins de curieuses; parmi les plus originales, nous citerons surtout celle exposée par M. Boucherot il y a quelques années (brevet de 1898).

» Cette méthode offre, comme particularité, une analogie frappante avec le système de distribution à courants alternatifs préconisé il y a de longues années, également par M. Boucherot. En raison surtout de cette parenté avec les procédés applicables aux courants alternatifs, nous en indiquerons le principe, laissant à M. Boucherot le soin d'entrer dans des explications plus détaillées.

» Considérons un ensemble de quatre dynamos identiques excitées en série et entraînées d'une façon quelconque.

» Groupons ces quatre machines comme l'indique le schéma de la figure 3, de telle manière que les quatre machines tournant dans

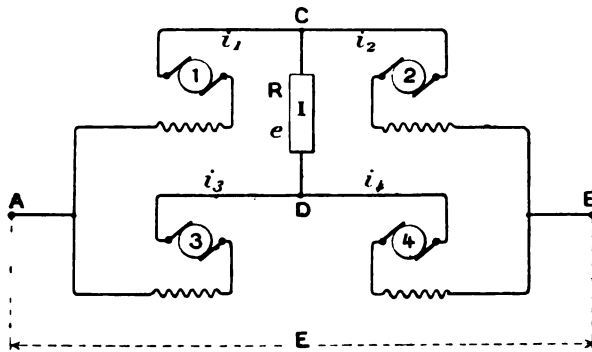


Fig. 3. — Dispositif de M. Boucherot.

le même sens et étant parcourues par un même courant, les forces électromotrices de 1 et 4 soient égales et de signes contraires à celles de 2 et 3.

» Relions les sommets A et B du quadrilatère des connexions à une source de force électromotrice E et disposons en CD un circuit contenant une résistance quelconque et une force électromotrice quelconque, le courant dans CD étant I.

» Si le circuit magnétique n'est pas saturé, les forces électromotrices des quatre machines supposées identiques sont proportionnelles aux intensités qui les parcourent à un moment quelconque et l'on peut écrire

$$e_1 = ki_1, \quad e_2 = ki_2, \quad e_3 = ki_3, \quad e_4 = ki_4.$$

» D'autre part, puisque

$$e_1 = e_4 = -e_2 = -e_3,$$

on devra avoir

$$E = ki_1 - ki_2 = k(I + i_2 - i_2) = kI, \quad \text{d'où} \quad I = \frac{E}{k}.$$

» L'intensité dans CD est donc indépendante de R et de e , mais dépend seulement de la force électromotrice de la source E et du coefficient k .

» On obtient par cet artifice la possibilité de faire fonctionner des appareils à intensité constante sur un réseau à différence de potentiel constante.

» Si l'on place un moteur sur la branche CD, celui-ci fonctionnera comme un moteur à intensité constante; les variations de vitesse seront encore des plus faciles à obtenir.

» Enfin, en faisant varier k , par exemple par le simple shuntage des inducteurs des quatre machines, on pourra faire varier l'intensité dans le circuit CD.

» Tout moteur intercalé dans CD fonctionnera donc comme un moteur à intensité constante.

» Les moteurs de ce genre se prêtent particulièrement bien, en raison même de leurs propriétés, à la réalisation des vitesses variables.

» On sait, en effet, que si un tel moteur est excité en série, par exemple, le flux inducteur et le courant induit étant constants, le couple moteur est lui-même indépendant de la vitesse; la vitesse que prend le moteur est automatiquement déterminée par la valeur du couple résistant.

» Le dispositif de M. Boucherot permet, en agissant sur le facteur k , de faire varier à volonté l'intensité dans le circuit CD et, par suite, le flux dans le moteur et le couple développé. On a ainsi un moyen d'action plus étendu que celui employé ordinairement avec les moteurs à intensité constante et consistant à faire varier le couple moteur par modification des bobinages inducteurs ou par le calage des balais. On peut arriver alors, soit à maintenir la vitesse constante lorsque le couple résistant augmente, soit à augmenter la vitesse lorsque le couple résistant reste constant.

» Mettant à part les complications du système de distribution, ce simple aperçu montre que le moteur à intensité constante est bien approprié au réglage de la vitesse et permet une utilisation plus rationnelle de la matière que le moteur fonctionnant sur réseau à tension constante. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Brunswick en remettant la discussion éventuelle de sa Communication après la suivante.

**MOTEURS A COURANTS ALTERNATIFS A VITESSE VARIABLE
SANS ALTÉRATION DU RENDEMENT.**

M. Marius LATOUR. — « La variation de la vitesse dans les moteurs d'induction comportant des bagues sur le rotor n'est obtenue que grâce à une altération profonde du rendement. En effet, pour réduire la vitesse normale d'un tel moteur, on est obligé de fermer le rotor sur les résistances. Si l'on réduit avec cette méthode la vitesse du moteur à $\frac{1}{n}$ de sa valeur normale, les résistances extérieures consomment $1 - \frac{1}{n}$ de l'énergie fournie au stator du moteur. Il en résulte, aux faibles vitesses, que l'énergie mécanique libérée sur l'arbre représente plutôt des *pertes* par rapport à l'énergie électrique fournie par le réseau et qu'il ne saurait en quelque sorte être question, pour un electricien, d'un rendement quelconque.

» Afin d'éviter l'emploi des résistances, on a proposé de bobiner le stator des moteurs d'induction de telle façon qu'il soit possible de varier le nombre de pôles du moteur et d'admettre par conséquent plusieurs synchronismes successifs. Mais cette méthode est pratiquement très difficile à réaliser. Elle ne permet d'ailleurs pas le réglage *continu* de la vitesse.

» Je vais, aujourd'hui, envisager le fonctionnement à vitesse variable des moteurs à collecteurs polyphasés et monophasés. Ces moteurs, susceptibles de travailler à bon rendement à une vitesse quelconque indépendante du nombre de pôles pour lequel ils sont bobinés, présentent à ce titre un grand intérêt ⁽¹⁾.

(¹) Les théories que j'ai déjà publiées sur le matériel à collecteur [*Alternateurs à collecteur* (*Éclairage électrique*, 12 avril 1903); *Moteur à répulsion* (*Elektrotechnische Zeitschrift*, 11 juin 1903); *Moteurs compensés monophasés* (*Elektrotechnische Zeitschrift*, 22 octobre 1903)] sont des théories de *première approximation* dans lesquelles je néglige les fuites. La théorie élémentaire que je développerai ici est une théorie de même nature.

D'une manière générale si, dans les théories de *deuxième approximation*, on fait intervenir les fuites, on est conduit à introduire, dans les représentations graphiques, un diagramme circulaire analogue à celui qui se présente d'une façon bien connue pour le moteur d'induction. Le diagramme circulaire a, en réalité, une portée générale et peut s'appliquer à tous les appareils à courants alternatifs comportant deux systèmes de circuits électriques distincts.

MOTEURS POLYPHASÉS.

» I. *Moteur parallèle.* — Considérons la disposition à courants polyphasés dans laquelle un stator ordinaire S (*fig. 1*) est monté en parallèle avec un rotor à collecteur R, les balais *a, b, c, d* du rotor étant, pour des bobinages Gramme avec même sens d'enroulement sur les armatures S et R, calés en opposition par rapport aux bornes correspondantes A, B, C, D du stator. Branchons ce moteur sur un réseau de fréquence N. Supposons que, le nombre de spires n_s du

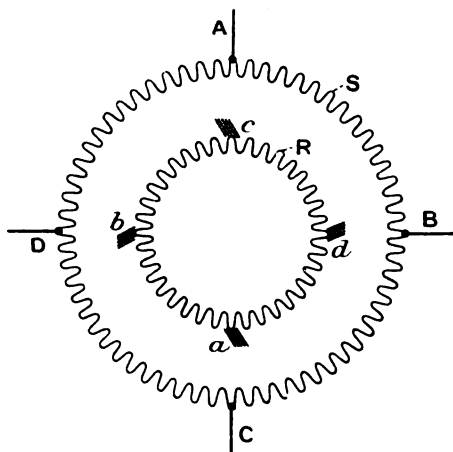


Fig. 1.

stator étant imposé par la tension du réseau et l'induction admise dans le moteur, nous adoptons pour le rotor un nombre de spires arbitraires n_r .

» Soit d'abord $n_r > n_s$. Je dis que le moteur, après avoir démarré dans le sens du champ tournant développé dans les armatures S et R, prend, à vide, la vitesse N_1 qui est telle que

$$n_r(N - N_1) = n_s N$$

et que le moteur à collecteur considéré se comporte par rapport à cette vitesse N_1 exactement comme le moteur d'induction se comporte par rapport à la vitesse N.

» En effet, à la vitesse N_1 , le champ résultant du moteur induit, par définition, des tensions égales dans le rotor et dans le stator. Il suffit donc que le stator et le rotor soient le siège de courants

magnétisants inversement proportionnels à la résistance de leurs enroulements pour que les voltages entre balais coïncident exactement avec ceux entre bornes. Le couple sur l'arbre sera manifestement nul.

» Chargeons le moteur. Sa vitesse faiblit. Les tensions induites entre les balais du rotor augmentent puisque le glissement $(N - N_1)$ augmente. Pour maintenir l'égalité matériellement imposée entre les voltages entre balais d'une part et les voltages entre bornes d'autre part, le rotor *débite* alors des courants wattés, ce qui introduit une certaine chute ohmique dans le rotor, et le stator *absorbe* des courants wattés, ce qui introduit une chute ohmique de signe opposé dans le stator. La somme de ces deux chutes ohmiques devenant égale à l'augmentation des tensions développées dans le rotor par rapport à celles développées dans le stator, l'identité des voltages entre bornes et balais est toujours assurée. Les ampères-tours wattés du stator et du rotor contrebalancent leurs effets magnétiques et les courants magnétisants primitifs, contribuant à l'excitation du champ, circulent dans le stator et dans le rotor dans les mêmes conditions que pour la marche à vide.

» La compensation nécessaire entre les ampères-tours wattés du stator et du rotor démontre que le rotor ne rend sur le réseau que $\frac{n_s}{n_r}$ des courants wattés absorbés par le stator. Il en résulte que le moteur, dans son ensemble, consomme de l'énergie électrique : ce qui était évident *a priori*.

» Pour n_r indéfiniment croissant, N_1 tend vers N .

» Soit $n_r < n_s$. Le moteur démarre alors en sens contraire du champ et atteint, en valeur absolue, la vitesse N_1 à vide telle que

$$n_r(N + N_1) = n_s N.$$

» Lorsqu'on charge le moteur, N_1 diminuant, les tensions induites dans le rotor diminuent également. Il en résulte que le rotor *absorbe* cette fois certains courants wattés tandis que le stator *débite* certains courants wattés. L'excès des premiers courants sur les seconds représente évidemment l'énergie consommée par le moteur.

» Décalons le porte-balais du rotor de 180° (*fig. 2*) et conservons toujours les mêmes connexions avec les bornes A, B, C, D.

» Soit $n_r > n_s$. La vitesse à vide du moteur N_1 sera alors supérieure

à N et telle que

$$n_r(N_1 - N) = n_s N.$$

» Les courants déwattés absorbés par le stator et le rotor soustraient leurs effets au point de vue de l'excitation du champ. Les courants totaux absorbés à vide sont donc plus élevés pour ces

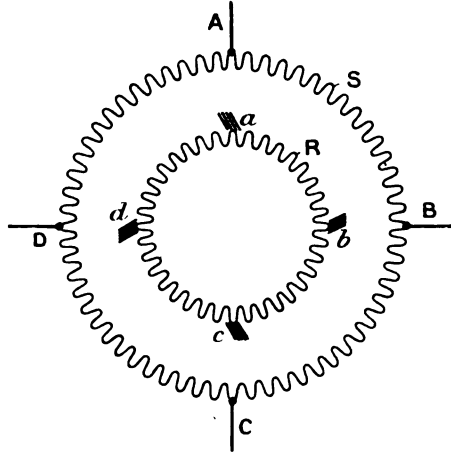


Fig. 2.

régimes hypersynchrones. Pour des bobinages identiques du stator et du rotor, ces courants devraient être infinis : le moteur brûlerait.

» Avec la charge, N_1 diminue et les tensions induites dans le rotor diminuent en conséquence. Le rotor *absorbe* certains courants wattés. Pour annuler les ampères-tours wattés du rotor il est nécessaire cette fois, étant donné le calage des balais a, b, c, d , que le stator *absorbe* pareillement des courants wattés. La chute ohmique étant plus grande dans le rotor que dans le stator, puisque les courants wattés absorbés sont seulement en raison inverse du nombre de spires, tandis que les résistances des enroulements sont, à poids de cuivre égal, comme le nombre de spires, on conçoit que la différence entre ces chutes ohmiques puisse contrebalancer l'abaissement des tensions induites dans le rotor par rapport aux tensions induites dans le stator. La somme des courants wattés absorbés par le stator et le rotor représente évidemment l'énergie électrique consommée par le moteur.

» Pour n_r indéfiniment croissant, N_1 tend vers N .

» Soit $n_r > n_s$. On pourrait bien imaginer une marche à vide à la

vitesse N_1 telle que

$$n_r(N_1 - N) = n_s N.$$

» Mais, à moins de mettre des résistances en série avec les balais, ce régime ne saurait être stable. En effet, avec la charge, la vitesse devrait augmenter puisqu'une absorption de courants wattés, en tenant compte de la compensation nécessaire des ampères-tours wattés du stator et du rotor, introduirait, en vertu d'un raisonnement analogue à celui que je viens de faire plus haut, une chute ohmique plus faible dans le rotor que dans le stator. Il faudrait donc avec la charge que les tensions induites dans le rotor augmentent par rapport à celles induites dans le stator, c'est-à-dire que la vitesse du moteur augmente.

» Dans ces conditions, le moteur dépassera dans tous les cas la vitesse N_1 et, ne trouvant aucun régime avec accès de courant modéré, brûlera invariablement.

» Dans les régimes hyposynchrones et dans les régimes hypersynchrones correspondant à $n_r > n_s$, le moteur entraîné mécaniquement au-dessus de la vitesse à vide caractéristique N_1 fonctionne, dans tous les cas, en génératrice comme le moteur d'induction. Les courants wattés livrés au réseau sont la différence, en valeur absolue, entre les courants wattés du stator et du rotor dans le cas de la figure 1 (régimes hyposynchrones) et la somme de ces courants dans le cas de la figure 2 (régimes hypersynchrones).

» Tous les régimes que nous avons considérés sont à rendement parfait en ce sens qu'il n'y a nulle part de l'énergie dissipée dans des résistances et que le réseau ne fournit manifestement au moteur que l'énergie libérée sur l'arbre. Négligeons les régimes hypersynchrones sans intérêt pratique. Nous voyons alors que tous les régimes hyposynchrones se réalisent avec un calage des balais unique (fig. 1) et sous un couple quelconque grâce à l'adoption d'un nombre de spires approprié n_r sur le rotor.

» Effectuons les connexions du rotor avec le réseau par l'intermédiaire d'un transformateur. Le rapport de transformation de ce transformateur est évidemment arbitraire. Soient α ce rapport, η le nombre réel des spires du rotor. Tout se passe alors comme si le nombre de spires du rotor était $n_r = \frac{\eta}{\alpha}$. En réalisant des valeurs

différentes de α nous modifierons la vitesse à vide caractéristique N_1 du moteur et par suite sa vitesse réelle sous un couple quelconque.

» La disposition de la figure 1 ou 2 a été décrite pour la première fois par M. Wilson (Patente anglaise 18525, année 1888). Mais à cette époque, M. Wilson ne comprenait manifestement pas le fonctionnement de la disposition qu'il décrivait. Sans s'inquiéter du nombre de spires n_r du rotor, M. Wilson parle de la nécessité de décaler les balais a, b, c, d par rapport à la position indiquée sur la figure 1 afin d'obtenir un couple. Outre que ce décalage est inutile pour produire le couple du moteur (si $n_r \neq n_s$), il est certain qu'il résulterait de ce décalage des courants capables de brûler le moteur. On se rend compte, en effet, que, pour un décalage sensible des balais a, b, c, d , par rapport à la position indiquée sur la figure 1, les conducteurs de jonction entre bornes et balais mettent en relation des points qui ne peuvent pas avoir des potentiels en phase.

» Il est curieux de noter que M. Wilson a prévu la disposition éventuelle d'une cage d'écureuil, soit sur le rotor, soit sur le stator, soit sur les deux parties à la fois. La disposition d'une cage d'écureuil sur le stator serait évidemment désastreuse. Sur le rotor, elle transformerait le moteur en moteur d'induction.

» Si l'on veut retrouver, en partant du moteur Wilson à vitesses asynchrones, le moteur shunt sans déphasage qui se déduit de mon alternateur shunt auto-exciteur, il faut faire n infini, c'est-à-dire adopter pratiquement un bobinage d'inducteur sur le rotor et décaler les balais sur le collecteur, car, dans la position adoptée pour travailler à vitesse variable, il est impossible, soit de travailler sans déphasage, soit de marcher synchroniquement. La cage d'écureuil Wilson se transformerait alors en amortisseur et deviendrait simplement inutile.

» II. *Moteur série*. — Considérons la disposition de la figure 3. Elle représente schématiquement le moteur série polyphasé.

» Le couple d'un tel moteur est fonction :

» 1° De la tension appliquée aux bornes du moteur ;

» 2° Du rapport $\frac{n_r}{n_s}$ entre le nombre de spires du rotor et le nombre de spires du stator ;

» 3° Du calage des balais a, b, c, d par rapport aux bornes A, B, C, D.

» En agissant sur un de ces trois facteurs, nous modifierons la vitesse du moteur sous un couple quelconque.

» Pour modifier la tension d'alimentation, on aura recours à un transformateur à spires secondaires variables.

» Pour modifier le rapport $\frac{n_r}{n_s}$, on effectuera la mise en série du

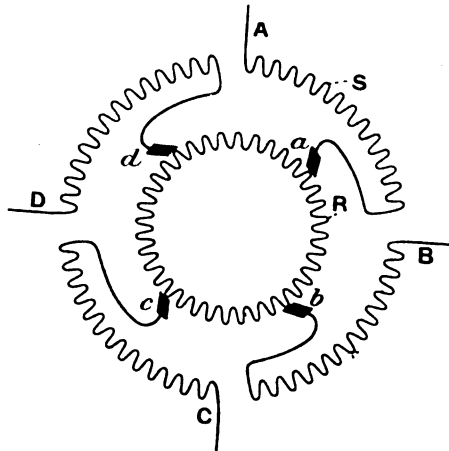


Fig. 3. — Moteur série.

stator et du rotor avec un transformateur dont on modifiera le rapport de transformation.

» Ces deux méthodes de réglage comportent l'emploi de transformateurs. Aussi, dans les moteurs à basse tension, est-il plus simple de toucher au calage des balais.

» Je rappelle que la position des balais sur le collecteur est sans rapport avec la commutation. Cette dernière ne dépend que de la vitesse du moteur.

» L'inconvénient du moteur série par rapport au moteur parallèle est qu'aucun de ses régimes n'est stable. Il en résulte que le réglage de la vitesse avec simple moteur série est plus spécialement approprié pour les appareils de levage et pour la traction.

MOTEURS MONOPHASÉS.

» Les moteurs monophasés à collecteur ont attiré beaucoup l'at-

tention des électriciens dans ces derniers temps, en vue d'applications possibles à la traction.

» Ces moteurs sont :

» 1° Le moteur série ordinaire;

» 2° Le moteur à répulsion;

» 3° Le moteur série compensé.

» Le réglage de la vitesse du moteur série ordinaire peut se faire soit en réglant la tension d'alimentation, soit en effectuant la mise en série de l'inducteur et de l'induit avec un transformateur série et en modifiant le rapport de transformation de ce transformateur (voir patente américaine 712717).

» Le réglage du moteur à répulsion s'effectue simplement en modifiant le calage des balais.

» Le réglage de mon moteur série compensé (voir *fig. 4*) peut

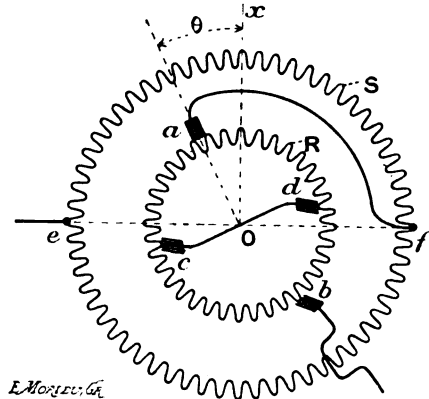


Fig. 4.

s'effectuer par les moyens déjà indiqués pour le moteur série ordinaire.

» Mais on peut concevoir une autre méthode de réglage.

» Soient :

n_s le nombre de spires du stator;

n_r le nombre de spires du rotor;

R la réluctance du circuit magnétique du moteur;

V la tension constante appliquée au moteur;

N la fréquence de cette tension;

θ le décalage des balais a, b par rapport à une perpendiculaire Ox à la ligne qui joint les bornes e, f .

» On trouve, dans ces conditions, pour l'expression du couple C du moteur à la vitesse quelconque N_1 :

$$C = \frac{V^2 \frac{n_s}{2\pi} \cos \theta}{\frac{2}{R} (n_r - n_s \sin \theta) \left\{ (n_s N_1 \cos \theta)^2 + \left[n_r \left(N - \frac{N_1^2}{N} \right) - n_s N \sin \theta \right]^2 \right\}}$$

et pour le courant I absorbé par le moteur :

$$I = \frac{V}{\frac{2}{R} (n_r - n_s \sin \theta) \sqrt{(n_s N_1 \cos \theta)^2 + \left[n_r \left(N - \frac{N_1^2}{N} \right) - n_s N \sin \theta \right]^2}}.$$

» De ces deux formules il résulte que l'on peut, sans introduire un afflux de courant exagéré, établir, à une vitesse quelconque N_1 , le couple positif ou négatif qui convient à la charge, en modifiant simplement la valeur de θ .

» Cette modification de θ sera sans rapport avec la commutation, puisque, dans le moteur envisagé, cette dernière ne dépend que de la vitesse.

CONCLUSION.

» Nous savions déjà que l'introduction du collecteur en courants alternatifs permettait :

» 1° De travailler sans déphasage en régime normal avec une commutation parfaite ;

» 2° De démarrer avec un grand couple en courant alternatif simple.

« Je viens de montrer aujourd'hui comment l'usage du collecteur réalise des moteurs à vitesses *asynchrones* sans altération du rendement.

» Dans une Communication ultérieure, j'exposerai par quels procédés on obtient une bonne commutation dans ces moteurs. »

M. BOUCHEROT. — « Je demande la permission de présenter quelques observations d'ordre général sur les moteurs dont on exige des vitesses angulaires extrêmement variables, qu'il s'agisse de courant continu ou de courant alternatif.

» Il est bien entendu d'abord, comme l'a fait remarquer M. Brunswick dans sa Communication, qu'une carcasse déterminée de dynamo

peut donner un couple maximum *sensiblement le même* à toutes les vitesses; que, par conséquent, l'utilisation rationnelle d'une dynamo, comme moteur, est, non pas à puissance constante, mais à couple constant; que, par conséquent, les moteurs dits à puissance constante, et vitesse variable, ne sont que des moteurs établis pour donner ladite puissance à la vitesse *minima* et *mal utilisés* aux vitesses supérieures. A cet égard, l'emploi de moteurs électriques sous cette forme est donc peu recommandable, et si vraiment certains appareils mécaniques exigent une puissance constante, sous vitesse variable, il vaudrait mieux s'en tenir aux changements de vitesse d'ordre purement *mécanique*, comme on le faisait pour les tours, dans les ateliers, avant que le moteur électrique existât, lorsqu'on les actionnait par des transmissions à vitesse angulaire constante, que d'obliger les constructeurs électriciens à réaliser des acrobaties, comme on le fait maintenant.

» Ceci posé, il est bon de remarquer que les deux modes d'utilisation du moteur électrique les plus répandus :

» *a.* Vitesse constante, couple variable;

» *b.* Vitesse variable, couple constant;

» Correspondent tout naturellement à deux modes de distribution de l'électricité différents :

» A. Distribution en dérivation, à tension constante;

» B. Distribution en série, à intensité constante.

» On peut évidemment admettre l'un ou l'autre des deux modes d'utilisation du moteur avec l'un ou l'autre des systèmes de distribution, mais dans des conditions de praticabilité toutes différentes.

» Alors que le moteur *a* s'applique, avec une extrême facilité, à la distribution A (distribution à potentiel constant, moteur shunt, vitesse constante); alors que le moteur *b* s'applique, avec une extrême facilité à la distribution B (distribution à courant constant, moteur série, vitesse variable); ce n'est qu'en sacrifiant quelque chose, argent, énergie, simplicité ou facteur de puissance, que l'on peut appliquer le moteur *b* à la distribution A, ou le moteur *a* à la distribution B. En continu, pour adapter le moteur *a* à la distribution B, il a fallu toute l'ingéniosité et la persévérance de M. Thury, et vous savez au prix de quelles complications.

» Ces remarques s'appliquent aux moteurs alternatifs à collecteurs ; avec les moteurs d'induction, la fréquence complique les conclusions.

» Il est alors curieux de constater qu'en continu, comme en alternatif, on peut passer d'un système de distribution à l'autre, de A à B ou de B à A, par des procédés analogues. Puisque M. Brunswick m'y a invité, je me permettrai de vous donner quelques détails complémentaires.

» Quelques-uns d'entre vous se souviennent que j'ai indiqué, il y a 12 ou 13 ans, des combinaisons de self-inductions et de capacités permettant de passer, en Alternatif, d'une distribution à tension constante à une distribution à courant constant et *vice versa*. Je reproduis (*fig. 1*) trois schémas de montages donnant ce résultat.

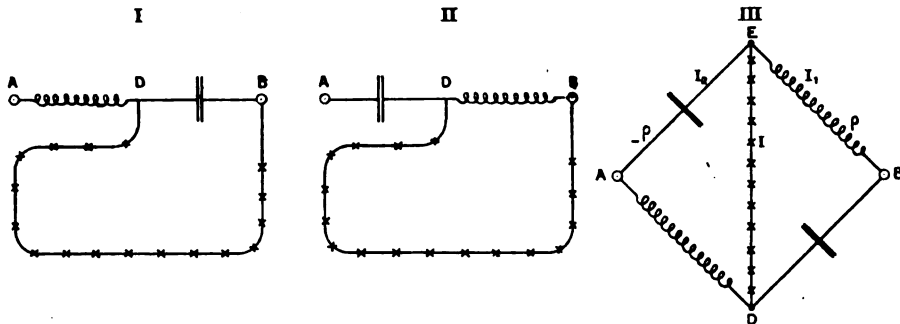


Fig. 1. — Schémas de montage permettant de passer d'une distribution à tension constante à une distribution à courant constant et *vice versa*.

Dans ces schémas, si la tension est constante entre A et B, le courant est constant : entre B et D pour les schémas I et II, et entre D et E pour le schéma III, quelle que soit la composition du circuit branché entre ces points, qu'il contienne de la résistance, de la self et de la mutuelle-induction, de la capacité, en un mot des appareils ayant des forces électromotrices quelconques sinusoïdales.

» Lorsqu'on traite le problème par les imaginaires, on est conduit à représenter par ρ et $-\rho$ les réactances des self-inductions et capacités, et le calcul, *fait comme s'il s'agissait de courant continu*, conduit à la valeur de l'intensité cherchée $I = \frac{E}{\rho}$.

» Dès lors les mêmes résultats peuvent être obtenus en Continu, à la condition de substituer aux self-inductions et capacités des résistances fictives ρ et $-\rho$, positives et négatives.

» Or, une dynamo-série travaillant au-dessous de la saturation magnétique et tournant à vitesse constante peut être considérée comme une résistance positive ou négative suivant le sens des connexions entre l'inducteur et l'induit. En effet, dans une telle machine, la force électromotrice induite est proportionnelle au courant ($\pm kI$), la chute ohmique également (rI); la baisse de tension due à la réaction d'induit également, pour un calage fixe des balais ($r'I$); finalement une telle machine équivaut à une résistance positive

$$\pm k + r + r',$$

le signe + correspondant à la marche en réceptrice, le signe — à la marche en génératrice. Pour obtenir des valeurs ρ et $-\rho$ égales numériquement, il suffit de faire k plus grand numériquement dans le second cas que dans le premier.

» La Maison Breguet a bien voulu, il y a quelques années, en 1898 si je ne me trompe, faire des expériences et mesures qui ont prouvé l'exactitude des prévisions théoriques.

» Je pense que l'on pourrait arriver à des résultats analogues en Alternatif avec des machines à collecteur, moyennant certaines précautions.

» Cependant je n'ai pas poursuivi la réalisation industrielle de ces dispositions parce qu'elles me paraissent un peu trop coûteuses *dans la généralité des cas*. Il y a pourtant des circonstances dans lesquelles leur application mériterait d'être prise sérieusement en considération; par exemple, lorsque l'on doit alimenter tout un lot de moteurs à vitesses constamment variables au moyen d'une canalisation à potentiel constant desservant de l'éclairage.

» Examinons ce qui se passe et la grosseur des appareils nécessaires dans le cas de l'application du schéma III (*fig. 3* de la communication de M. Brunswick, dont nous adoptons les symboles).

» Si E est la tension constante entre AB , ρ la résistance fictive des dynamos, le courant constant dans CD est $I = \frac{E}{\rho}$.

» Les intensités i_1, i_2, i_3, i_4 ont pour valeurs

$$i_1 = i_4 = (E - RI) \frac{I}{2E}, \quad i_2 = i_3 = -(E + RI) \frac{I}{2E},$$

R étant la résistance apparente du circuit CD , c'est-à-dire la somme

des résistances et des quotients par I des diverses forces électromotrices des appareils intercalés.

» Les puissances électriques *absorbées* par les dynamos sont

$$P_1 = P_4 = + (E - RI)^2 \frac{1}{4E}, \quad P_2 = P_3 = - (E + RI)^2 \frac{1}{4E}.$$

» De plus, pour entretenir le mouvement à vitesse constante, il faut conduire le système par un moteur schunt absorbant électriquement $2RI^2$, le système envoyant RI^2 dans le circuit d'utilisation et renvoyant RI^2 dans le réseau à tension constante.

» Faisons alors varier R de $-\frac{E}{I}$ (récupération dans le circuit d'utilisation) à $+\frac{E}{I}$, en passant par zéro.

» Pour $R = -\frac{E}{I}$

$$i_1 = i_4 = I, \quad i_2 = i_3 = 0;$$

$$P_1 = P_4 = EI, \quad P_2 = P_3 = 0.$$

» Pour $R = 0$

$$i_1 = i_4 = \frac{1}{2}, \quad i_2 = i_3 = -\frac{1}{2};$$

$$P_1 = P_4 = \frac{EI}{4}, \quad P_2 = P_3 = -\frac{EI}{4}.$$

» Pour $R = \frac{E}{I}$

$$i_1 = i_4 = 0, \quad i_2 = i_3 = -I;$$

$$P_1 = P_4 = 0, \quad P_2 = P_3 = -EI.$$

» Supposons que la puissance maxima EI dans le circuit d'utilisation soit de P kilowatts, c'est-à-dire que la puissance varie de $-P$ kilowatts à $+P$ kilowatts, chacune des 4 dynamos doit donc être de P kilowatts, mais comme les intensités sont toujours égales deux à deux on peut n'avoir que 2 dynamos de $2P$ kilowatts à deux collecteurs chacune, plus une dynamo schunt de $2P$ kilowatts pour conduire le tout. (En admettant que R ne varie que de 0 à $+\frac{E}{I}$, l'une des dynamos à 2 collecteurs pourrait n'être que de $\frac{P}{2}$ kilowatts.)

» Appliquons le système à la conduite de 20 appareils de manu-

tention absorbant chacun en pleine vitesse 1 kilowatt. Ces appareils fonctionnent tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, avec un régime très variable; nous admettrons que la puissance moyenne de l'ensemble varie de -5 à $+5$ kilowatts. Il faut donc en tout 3 dynamos de 10 kilowatts, lesquelles pourront tourner très vite, à 3000 tours par minute, par exemple, puisqu'elles n'ont rien à conduire mécaniquement et sont simplement manchonnées les unes au bout des autres. Soit une dépense d'environ 3000 fr, pour 8 à 10000 fr de moteurs, moyennant quoi on fera sur l'énergie une économie annuelle de l'ordre de grandeur de la dépense faite pour l'acquisition du système.

» Mais il y a un moyen de réduire encore la dépense d'acquisition, lequel fut expérimenté également par la Maison Breguet vers la même époque. Il consiste à croiser les excitations des 2 dynamos à 2 collecteurs, selon le schéma de la figure 2.

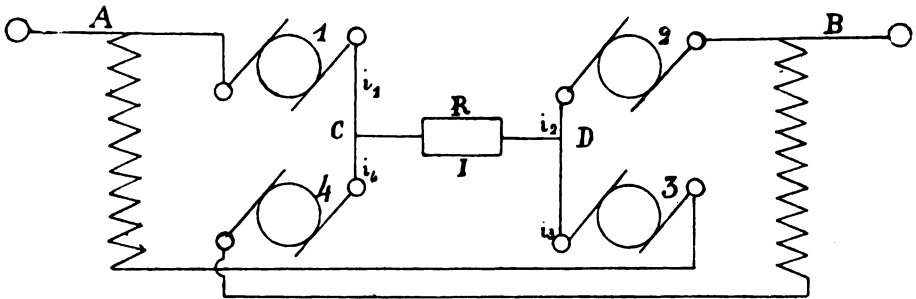


Fig. 2.

» On a encore l'intensité constante dans CD : $I = \frac{E}{\rho}$, mais les valeurs des intensités partielles sont différentes :

$$i_1 = i_4 = -(E + RI) \frac{1}{2E}, \quad i_2 = i_3 = (E - RI) \frac{1}{2E},$$

ainsi que celles des puissances

$$P_1 = P_4 = -(E^2 - R^2 I^2) \frac{1}{4E} = -P_2 = -P_3.$$

» La somme des puissances partielles est alors nulle, c'est-à-dire que la dynamo schunt conduisant le système n'a plus qu'à entretenir les frottements et l'hystérésis, et se trouve ainsi grandement réduite.

» De plus, dans les dynamos à 2 collecteurs, les champs magnétiques sont maxima quand les courants d'induit sont minima et *vice versa*; elles peuvent donc être réduites de dimensions, mais doivent être munies d'enroulements compensateurs genre Ryan. »

M. BRUNSWICK. — « Je suis tout à fait d'accord avec M. Boucherot au sujet des moteurs à puissance constante. L'utilisation en est particulièrement déplorable. Il est des cas pourtant où leur emploi est imposé, pour la commande de certaines machines-outils, par exemple. Aussi est-il recommandable, alors, de maintenir le réglage de la vitesse dans des limites modérées et convient-il que les ingénieurs chargés d'étudier les projets résistent à la tentation de demander toute la gamme du réglage au moteur seul. Il est bien rare que le travail de l'outil exige le passage graduel d'une vitesse à une autre fort différente et il est presque toujours possible de profiter d'un harnais d'engrenages pour restreindre les limites de fonctionnement du moteur.

» Nous croyons fermement que, pour combiner rationnellement une machine-outil et un moteur électrique il ne convient pas de demander *tout exclusivement*, en ce qui concerne la vitesse, au moteur électrique. Aucun avantage n'en résulte, ni au point de vue du rendement, ni au point de vue du coût d'établissement. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Marius Latour et les Sociétaires qui ont pris part à la discussion de ces intéressantes Communications.

RÉGULATEUR ÉLECTRIQUE.

PRINCIPE DU RÉGULATEUR.

M. GIN. — « On réalise généralement la régulation du mouvement des moteurs à vapeur par l'intervention d'un régulateur à force centrifuge agissant directement sur le mécanisme d'admission, dont la manœuvre n'exige qu'un effort relativement faible s'exerçant dans un temps très court. Il en résulte que les perturbations pourraient être corrigées rapidement s'il ne se produisait, dans un grand nombre de cas, des oscillations à longues périodes propres au régulateur et dues à l'inertie des boules, oscillations dont l'atténuation a fait l'objet d'études aussi nombreuses qu'intéressantes.

» Dans les régulateurs pour moteurs hydrauliques, au contraire, la manœuvre de la vanne exige des efforts si considérables que l'action directe du régulateur est généralement impossible, et qu'il est indispensable d'interposer entre le vannage et l'appareil centrifuge un mécanisme spécial, dont la force est empruntée au moteur même ou à une source extérieure d'énergie. Dans ces conditions, l'effet du régulateur dépend beaucoup moins de l'inertie des boules que de l'action plus ou moins prolongée et plus ou moins énergique du mécanisme de commande du vannage.

» Le rôle d'un régulateur parfait est évidemment de corriger le plus rapidement possible toute perturbation due à un écart entre la puissance et la résistance, en limitant au minimum l'amplitude de variation de la vitesse angulaire.

» Or, si nous remarquons qu'à une résistance donnée et pour une vitesse de régime imposée, correspond une seule ouverture de vanne compatible avec l'équilibre entre la puissance et la résistance, nous déduirons que l'action du régulateur doit s'exercer le plus tôt possible après l'origine de la perturbation, de manière à provoquer, aussi rapidement que possible, un déplacement de la vanne automatiquement limité à l'ouverture exigée pour le rétablissement de la vitesse de régime.

» Pour éclaircir cette dernière condition, imaginons un régula-

teur à force centrifuge obéissant aux moindres variations de vitesse angulaire et provoquant instantanément la mise en marche d'un moteur qui ouvre ou ferme la vanne, suivant que la vitesse s'accélère ou se ralentit.

» On reconnaît d'abord qu'un tel régulateur ne pourrait ramener le moteur à sa vitesse de régime qu'après une longue suite d'oscillations, ayant pour effet de faire passer alternativement la vanne de part et d'autre de la position moyenne à atteindre. Mais, en examinant les courbes de correction, on constate que la vanne occupe la position correspondant à l'équilibre de la puissance et de la résistance pour la vitesse de régime, peu après que la vitesse angulaire a passé par son maximum ou son minimum. M. Léauté, Membre de l'Institut, a déduit de cette observation que, pour corriger une perturbation dans le temps le plus court possible, il suffit d'arrêter la vanne un peu après que les boules du régulateur, ayant cessé de monter ou de descendre, commencent à revenir en sens contraire de leur mouvement primitif. »

» *Application du principe de M. Léauté.* — Nous avons réalisé l'application du principe de M. Léauté en actionnant le mécanisme de manœuvre de la vanne par un moteur électrique alimenté par une source d'énergie indépendante ou solidaire de la turbine.

» Nous ferons d'abord observer que la mise en marche et l'arrêt du déplacement de la vanne devant être aussi rapides que le permettent l'inertie et la résistance des mécanismes à mouvoir, la mise en circuit ou hors circuit du moteur doit comporter des interrupteurs à rupture brusque, munis de dispositifs supprimant les étincelles. Il convient, en outre, que le moteur soit excité en série, afin d'avoir un couple de démarrage puissant, et il est nécessaire que son induit soit assez robuste pour supporter le démarrage sans rhéostat.

» Ces conditions exposées, nous allons décrire les dispositifs dont la combinaison schématique est représentée par la figure 1.

» *Description du régulateur.* — Soient une génératrice A, indépendante ou solidaire de la turbine, et un moteur B actionnant le mécanisme de manœuvre de la vanne, mis en circuit ou hors circuit par

deux couples d'interrupteurs à mercure commandés par un pendule C.

» La vitesse de la turbine étant normale, les plongeurs DD sont à une certaine distance du mercure des cuvettes F et E, et il ne

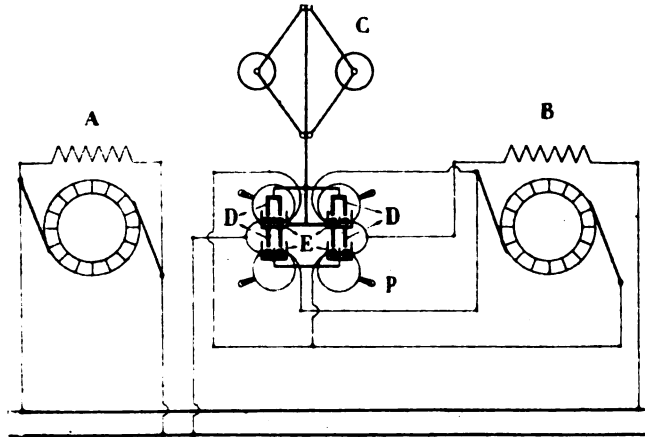


Fig. 1. — Schéma du régulateur.

passé aucun courant dans le moteur. Si la vitesse vient à croître ou à décroître, le manchon du pendule soulève ou abaisse un équipage mobile portant les plongeurs inférieurs et les cuvettes supérieures, de manière à immerger l'un ou l'autre couple de plongeurs dans les cuvettes correspondantes. Dans le premier cas (vitesse croissante), le courant fourni par la génératrice A passe dans l'inducteur et l'induit du moteur, de manière à provoquer la marche en avant de ce moteur (fermeture du vannage); dans le second cas (vitesse décroissante), le courant parcourt l'inducteur dans le même sens, mais il est inversé dans l'induit, ce qui provoque la marche en arrière du moteur (ouverture du vannage). Mais, comme nous l'avons expliqué plus haut, le seul fait d'ouvrir ou de fermer le vannage dès l'origine et pendant toute la durée d'une perturbation ne pourrait occasionner qu'une série d'oscillations de la vitesse angulaire, et la solution pratique consiste à interrompre le mouvement d'ouverture ou de fermeture un peu après le maximum ou le minimum de la variation.

» Pour réaliser cette condition, l'appareil est disposé de façon que les plongeurs restent immergés dans les cuvettes pendant toute la durée de l'élévation ou de l'abaissement du manchon et

qu'ils s'en séparent dès que les boules, après avoir monté, commencent à redescendre, ou, après avoir descendu, commencent à remonter.

» Cette rupture du contact à l'instant où la vanne passe par la position correspondante à la vitesse de régime est obtenue par l'intervention de deux cliquets qui permettent le mouvement d'ascension des plongeurs supérieurs ou de descente des cuvettes inférieures et les immobilisent au moment favorable, pour les laisser ensuite

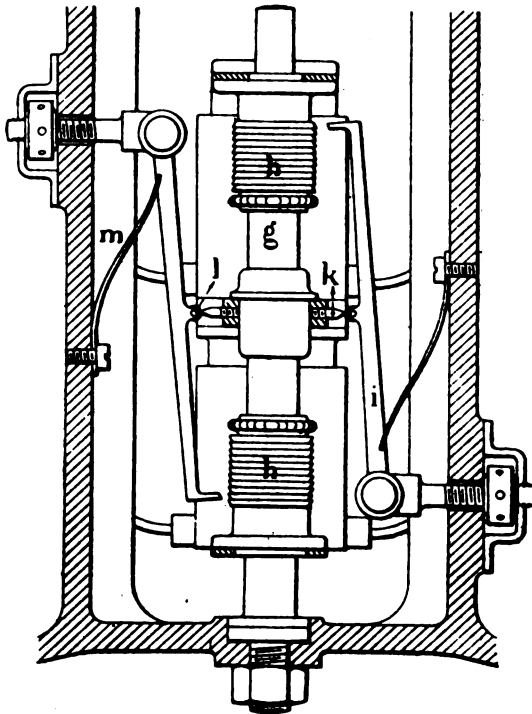


Fig. 2. — Vue des interrupteurs.

revenir à leur position initiale dès que la vitesse repasse par sa valeur de régime.

» Ces cliquets, ne pouvant être figurés aisément sur le dessin schématique, sont représentés sur le plan d'exécution de l'appareil que nous allons décrire plus en détail, afin d'en faire bien saisir les dispositions caractéristiques.

» Comme il a été dit, la communication électrique entre la génératrice et le moteur comporte deux couples d'interrupteurs, dont

l'un agit pendant la montée du manchon et l'autre pendant la descente. Chacun de ces interrupteurs, représentés aux figures 3

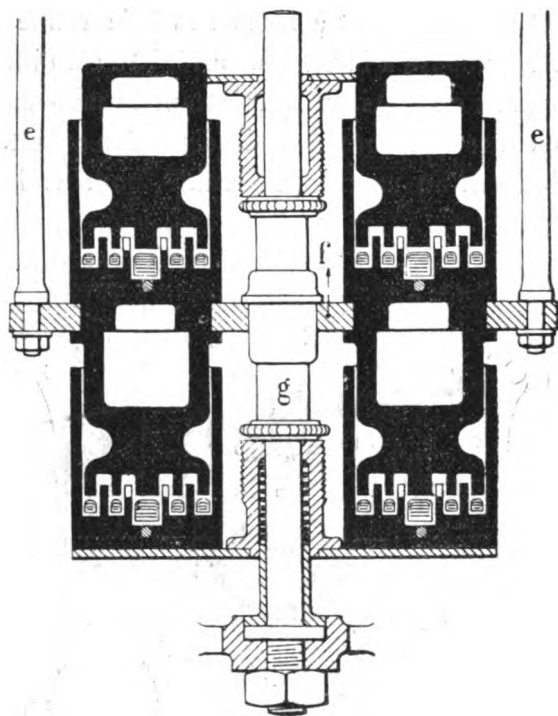


Fig. 3. — Coupe des interrupteurs.

et 4, est constitué par une cuvette en ébonite ou autre matière isolante, dans le fond de laquelle sont creusés trois compartiments concentriques *a*, *b*, *c*, remplis de mercure jusqu'à un niveau déterminé. Les compartiments central et périphérique *a* et *c* des deux cuvettes sont en connexion avec les pôles de la génératrice et du moteur. Pour chaque couple d'interrupteurs on ferme le courant au moyen d'un double plongeur portant des saillies concentriques pouvant s'emboîter dans les canaux correspondants de la cuvette.

» Lorsque ces saillies pénètrent dans les compartiments annulaires de la cuvette, le mercure déplacé franchit les ponts *c*, *d*, en reliant, par les connexions centrale et périphérique, la génératrice A et le moteur B, qui se met à tourner dans un sens ou dans l'autre, suivant le couple d'interrupteurs en fonction.

» Par l'intermédiaire des deux tiges de suspension *e*, *e*, le man-

chon du régulateur provoque la montée ou la descente de l'équipage mobile *f* porteur des plongeurs inférieurs et des cuvettes supérieures fixés sur un double collier coulissant sur l'arbre.

» Les plongeurs supérieurs et les cuvettes inférieures sont respectivement fixés sur un plateau métallique qui porte une bague coulissant également sur l'arbre *g* et munie d'une denture cylindrique *h*, *h*.

» Si l'on se reporte à la figure 2, établie pour la position moyenne du manchon, on voit que, pour cette position, les cliquets *i*, *i*, sont écartés par la pression des doigts *k*, *k*, agissant sur les galets *l*, *l*. Dès que se produit une variation de vitesse modifiant la position du manchon, les galets échappent au contact des doigts *k* et les griffes

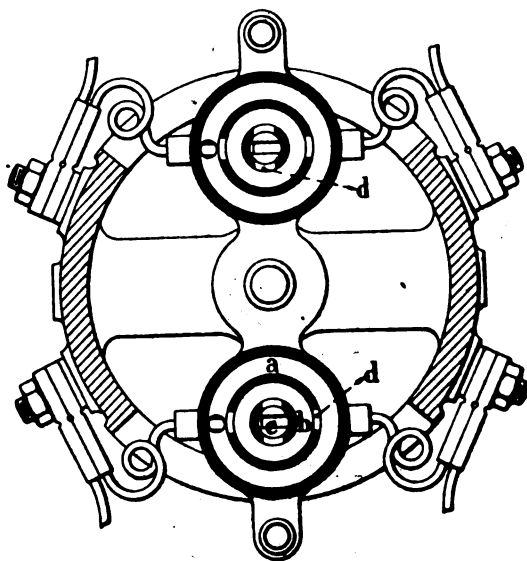


Fig. 4. — Plan des interrupteurs.

des cliquets viennent s'appliquer sur la denture *h* sous la pression des ressorts *m*, *m*. Par suite de l'inclinaison des dents, les cliquets ne peuvent s'opposer au mouvement d'ascension des plongeurs supérieurs ni à celui de descente des cuvettes inférieures. Par contre et en vertu de cette même inclinaison, ils s'opposent aux mouvements inverses et retiennent ces parties mobiles dans la position extrême de leur déplacement. Lorsque l'équipage *f* repasse par sa position normale, les doigts *k* reviennent en contact avec les

galets l , écartent les cliquets et le système mobile reprenant sa liberté reprend sa position initiale, soit par le seul effet de la pesanteur, soit sous l'action d'un ressort antagoniste.

• Pour mieux faire comprendre le fonctionnement de l'appareil, envisageons une perturbation provoquant une augmentation de la vitesse angulaire.

» Le déplacement du manchon détermine l'ascension de l'équipage f ; les plongeurs pénètrent dans le mercure des cuvettes supérieures, établissent par les ponts d la fermeture du circuit entre la

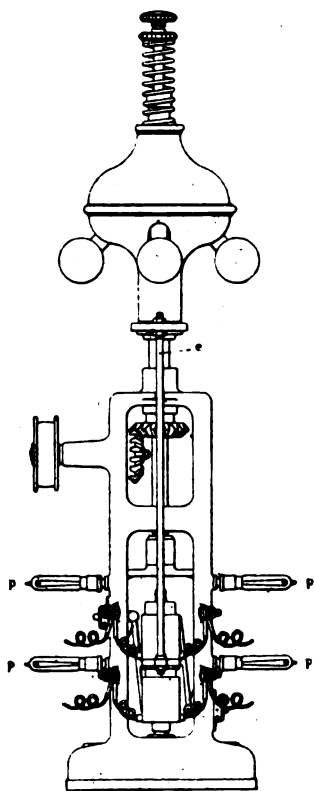


Fig. 5. — Régulateur.

génératrice et le moteur qui se met à tourner dans le sens de la fermeture du vannage. Le déplacement ascensionnel continuant, les plans supérieurs des saillies des cuvettes viennent en contact avec le fond des canaux concentriques des plongeurs qui sont alors soulevés et participent au mouvement d'ascension de l'équipage f . Dès

l'origine de la perturbation, le cliquet figuré à droite sur la figure 2 vient saisir le manchon denté *h* avec lequel il reste en contact sans

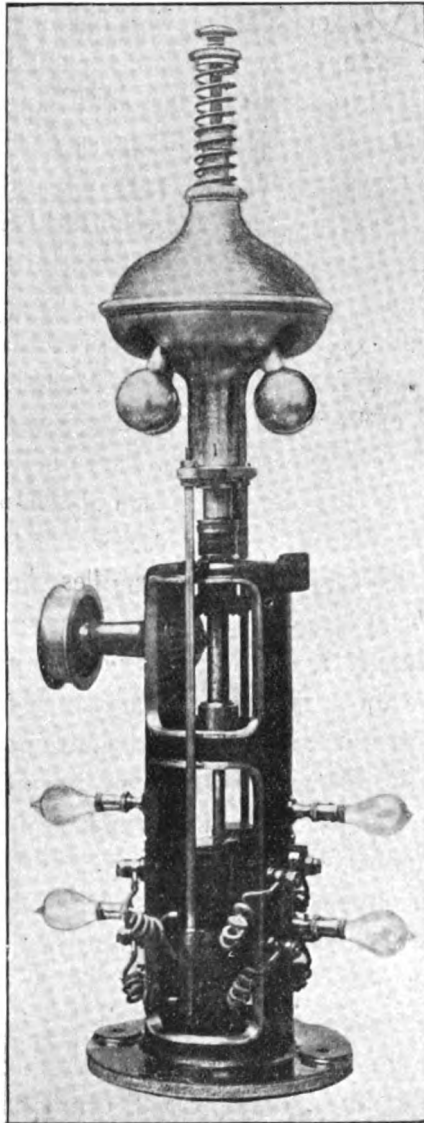


Fig. 6. — Régulateur.

pourtant s'opposer au mouvement ascensionnel, puisque le sens de la denture ne permet l'accrochage qu'à la descente.

» Par suite de la fermeture du vannage, l'accélération de vitesse angulaire diminue progressivement jusqu'à devenir nulle, puis négative.

tive. A ce moment, le manchon du régulateur abandonne sa position extrême pour redescendre, mais l'équipage mobile f n'entraîne plus avec lui les plongeurs supérieurs qui restent suspendus à la griffe du cliquet. Par suite de cette séparation des cuvettes et des plongeurs, le mercure revient à son niveau normal dans les compartiments et la rupture du courant se fait simultanément aux quatre points d . L'équipage mobile f poursuivant sa descente revient à sa position de régime et au moment d'y parvenir agit sur le galet l en écartant le cliquet qui se déclenche et rend la liberté aux plongeurs supérieurs, lesquels reprennent leur position initiale par le simple effet de la pesanteur.

» Tout ce qui vient d'être dit pour la correction d'un accroissement de vitesse s'applique également à un ralentissement; la seule différence consiste en ce que le retour des cuvettes inférieures à leur position normale s'effectue sous l'action d'un ressort antagoniste.

» Les dimensions respectives des saillies des plongeurs et des canaux circulaires des cuvettes sont calculées de manière que le déplacement du niveau du mercure soit environ cinq fois plus grand que celui du plongeur. Il en résulte que la mise en circuit des masses de mercure ou la rupture du contact s'opère d'une façon nette et rapide. La rupture simultanée en quatre points rend difficile la production des arcs dus à l'extra-courant de rupture et cette difficulté est encore augmentée par la présence d'une couche d'huile qui recouvre les nappes de mercure.

» Pour obtenir la suppression complète des étincelles nous avons imaginé de dériver l'extra-courant de rupture dans un circuit p réunissant les deux pôles de chaque groupe de cuvettes et dans lequel sont intercalées en série deux lampes à incandescence. En régime normal, le courant parcourt les deux circuits et porte les filaments au rouge sombre. Lorsque le courant passe par l'un des couples d'interrupteurs, la dérivation par les lampes s'affaiblit et l'incandescence cesse. Au contraire, elle devient très vive pendant le court instant de production de l'extra-courant de rupture. L'efficacité de cet expédient est telle que l'on ne constate après un long fonctionnement aucune trace de décomposition pyrogénée de l'huile recouvrant les nappes de mercure.

FONCTIONNEMENT ÉLECTRIQUE DU RÉGULATEUR.

» Il a été dit que les interrupteurs commandés par le manchon de l'appareil centrifuge doivent produire, sans rhéostat, la mise en marche en avant ou en arrière du moteur série actionnant le mécanisme du vannage. La suppression du rhéostat est une question de construction facile à résoudre, et il est toujours possible, pour des moteurs dont la puissance varie entre 0,5 et 1,5 kilowatt, d'établir un induit assez robuste pour résister au passage du courant de démarrage.

» En ce qui concerne le sens de rotation, la figure 7 montre

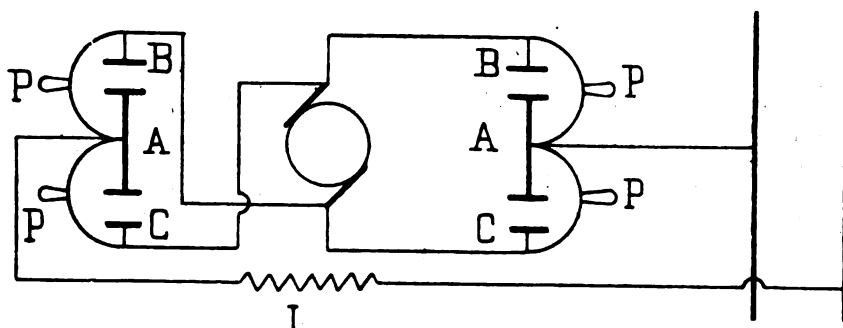


Fig. 7. — Schéma du montage.

comment le courant circule toujours dans le même sens à travers l'inducteur tandis qu'il passe dans un certain sens ou en sens inverse dans l'induit, suivant que la connexion se fait par les cuvettes supérieures ou inférieures.

» Il a été expliqué comment l'extra-courant de rupture est dérivé dans des circuits sur lesquels sont connectées des lampes à incandescence.

» En se reportant à la figure 8, qui correspond à une période d'arrêt du moteur, il est visible que la dérivation du circuit constituée par le moteur et les lampes en dérivation est parcourue par un courant total $I = \frac{E}{R}$ (R étant la résistance d'une lampe). Chaque branche de ce circuit dérivé est donc parcourue par un courant $I = \frac{E}{2R}$. En raison de la résistance considérable des lampes, ce courant est nécessairement faible (une fraction d'ampère). Mais,

comme d'autre part les résistances totales dans les deux branches sont sensiblement les mêmes, les pôles P et N du moteur sont, à peu de chose près, au même potentiel, et le courant d'intensité

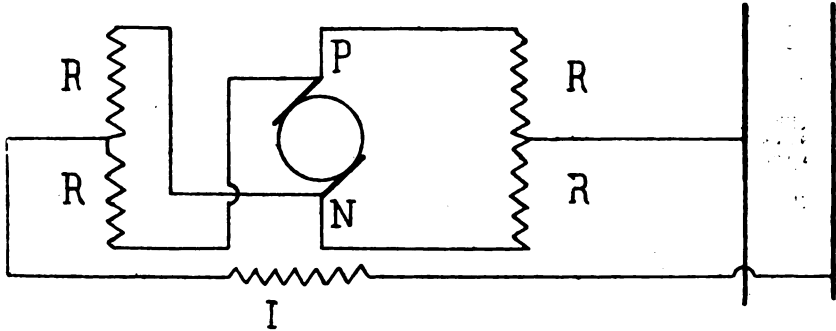


Fig. 8. — Arrêt du moteur.

négligeable qui parcourt l'induit est insuffisant pour provoquer la mise en marche du moteur. On peut donc en faire abstraction et calculer l'énergie consommée dans les circuits parcourus en permanence par le courant.

» En se reportant à la figure 9 on voit que l'énergie consommée

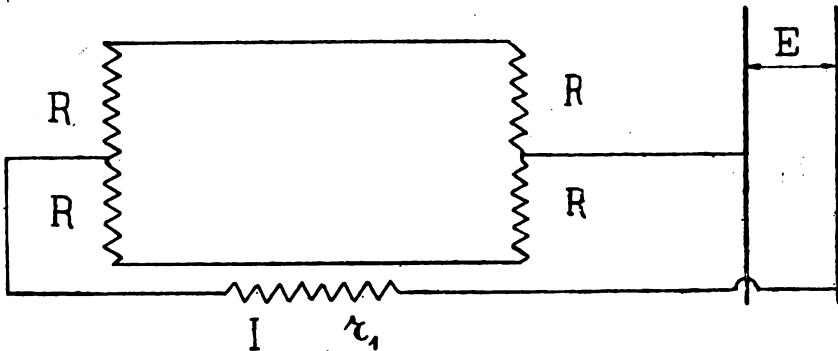


Fig. 9. — Arrêt du moteur.

est $\omega = \frac{E^2}{R}$ ce qui, pour une lampe de 5 bougies, représente à peine 17 watts.

» Les figures 10 et 11 se rapportent aux deux cas de rotation du moteur, et montrent que le courant de la génératrice se divise en deux parties, dont l'une parcourt l'induit et l'autre les circuits dérivés sur lesquels sont connectées les lampes à incandescence.

» Soient :

I , le courant total;

i , le courant passant dans l'induit;

R , la résistance d'une lampe;

r , la résistance de l'induit.

» On a, d'après le lemme de Kirchhoff,

$$i = I \frac{\frac{R}{2}}{r + \frac{R}{2}} = I \frac{1}{1 + \frac{2r}{R}}.$$

» Mais r est de l'ordre du centième d'ohm et R est plus grand

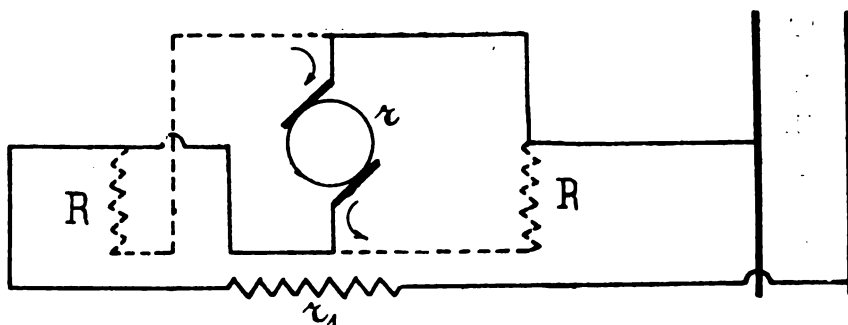


Fig. 10. — Marche dans un sens.

que 100, la fraction $\frac{2r}{R}$ est donc inférieure à $\frac{1}{1000}$, ce qui revient à dire que presque tout le courant passe dans l'induit, tandis que la

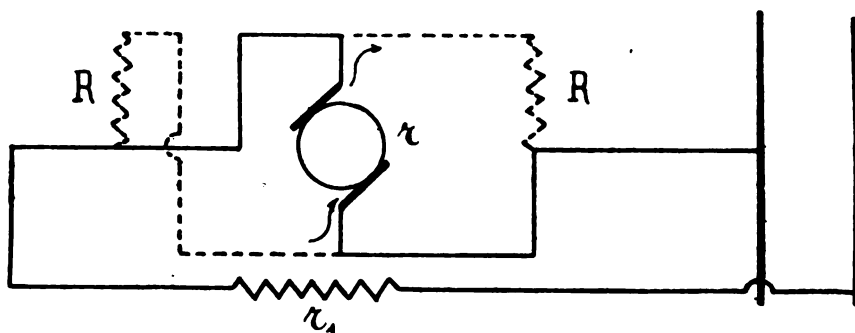


Fig. 11. — Marche dans l'autre sens.

dérivation par les lampes est négligeable.

» En résumé :

- » 1° En régime normal il ne passe aucun courant dans le moteur;
- » 2° Les lampes ont une consommation peu importante pendant l'arrêt du moteur;
- » 3° Lorsque le moteur tourne, le courant qui passe dans les lampes est négligeable;
- » 4° A la rupture du circuit, qui a lieu sans étincelles, l'extra-courant de rupture passe dans le circuit des lampes qui brillent avec éclat.

ÉTUDE ANALYTIQUE DU FONCTIONNEMENT DU RÉGULATEUR.

» L'étude qui va suivre est divisée en deux Parties :

- » I. Analyse théorique du phénomène de la régulation.
- » II. Étude de l'action du régulateur en tenant compte des conditions pratiques de son fonctionnement.

I. Analyse théorique du phénomène de la régulation.

» Nous examinerons d'abord le cas d'un régulateur sans frottement et parfaitement sensible, c'est-à-dire obéissant aux moindres variations de la vitesse de la machine, et provoquant aussitôt la mise en marche du moteur dans le sens exigé pour la correction.

» Pour simplifier les hypothèses et les calculs, nous supposerons que les perturbations sont produites par des variations brusques du travail résistant, mais il est bien évident que nous n'avons à considérer en fait que l'écart entre le travail moteur et le travail résistant et que cet écart pourrait résulter d'une variation de la puissance, ou même d'une modification simultanée de la puissance et de la résistance.

» Nous admettons en outre :

- » 1° Que l'on peut, à un instant quelconque, considérer le travail moteur comme proportionnel à l'ouverture correspondante du vanage;
- » 2° Que le travail résistant absorbé par les appareils utilisateurs

et les résistances passives est proportionnel à la vitesse angulaire;

» 3° Que le rendement de la turbine est indépendant de la vitesse;

» 4° Que la cause des perturbations est instantanée, c'est-à-dire que la résistance passe instantanément d'une valeur à une autre et que la fermeture ou l'ouverture de la vanne commence précisément à l'origine de la variation de vitesse;

» 5° Que la vitesse du moteur électrique et, par suite, celle de déplacement de la vanne sont constantes;

» 6° Que le régulateur fonctionnant sans frottement, il n'existe, pour toute vitesse angulaire, qu'une seule et unique position du manchon.

» *Équation du mouvement simultané de la turbine et du vannage.* — Soit α la vitesse linéaire constante de déplacement du vannage, dont l'ouverture initiale est a_0 .

» Au bout du temps t , après l'origine d'une perturbation, l'ouverture du vannage sera $a_0 \pm \alpha t$ et le travail moteur élémentaire, mesuré au temps t , aura pour expression

$$M(a_0 \pm \alpha t) dt.$$

» Le travail résistant, absorbé dans le même temps élémentaire, sera

$$R \omega dt,$$

M et R étant les coefficients qui représentent, pour la machine envisagée, la puissance en fonction de l'ouverture de vanne et la résistance en fonction de la vitesse angulaire.

» Le travail moteur élémentaire $M(a_0 \pm \alpha t) dt$ se retrouve dans le travail résistant $R \omega dt$ et dans la variation de force vive $I \omega d\omega$ correspondante à la force vive $\frac{I \omega^2}{2}$ acquise par le système en mouvement.

» L'équation générale du mouvement est alors

$$(1) \quad M(a_0 \pm \alpha t) dt - R \omega dt - I \omega d\omega = 0.$$

» Nous examinerons séparément les cas d'ouverture et de fermeture du vannage qui correspondent respectivement aux hypothèses de αt positif ou négatif.

» *Équation d'une courbe de fermeture.* — Cette équation correspond à une diminution de la résistance entraînant immédiatement un accroissement de la vitesse angulaire dont la correction exige la fermeture de la vanne.

» L'équation générale s'écrit alors

$$(2) \quad M(\alpha_0 - \alpha t) dt - R \omega dt - I \omega d\omega = 0.$$

» L'intégration donne

$$(3) \quad \left\{ \begin{aligned} & \log \frac{-\alpha I \omega^2 + (\alpha_0 - \alpha t) R \omega - (\alpha_0 - \alpha t)^2 M}{\alpha} \\ & + \frac{2 R}{\sqrt{H}} \arctan \frac{2 \alpha I \omega - (\alpha_0 - \alpha t) R}{(\alpha_0 - \alpha t) \sqrt{H}} + \text{const.} = 0, \end{aligned} \right.$$

équation dans laquelle

$$\sqrt{H} = \sqrt{4 \alpha I M - R^2},$$

$4 \alpha I M - R^2$ étant une quantité positive.

» Si $4 \alpha I M - R^2$ était égal ou inférieur à 0, l'équation changerait de forme. Pour $4 \alpha I M - R^2 < 0$, le deuxième terme est logarithmique et il en sera question plus loin. Pour $4 \alpha I M - R^2 = 0$, ce deuxième terme est algébrique et égal à

$$\frac{2(\alpha_0 - \alpha t) R}{2 I \alpha \omega - (\alpha_0 - \alpha t) R}.$$

» En fait, nous écartons ces deux dernières hypothèses qui conduisent à des valeurs pratiquement inacceptables de α et nous conservons l'équation (3) sous la forme trouvée plus haut.

» Déterminant la constante d'intégration pour $t = 0$, $\omega = \omega_0$, on obtient l'équation

$$(4) \quad \left\{ \begin{aligned} & \frac{\alpha I \omega^2 - (\alpha_0 - \alpha t) R \omega + (\alpha_0 - \alpha t)^2 M}{\alpha I \omega_0^2 - \alpha_0 R \omega_0 + \alpha_0^2 M} \\ & = e^{-\frac{2 R}{\sqrt{H}} \arctan \frac{[\alpha_0 \omega - (\alpha_0 - \alpha t) \omega_0] \sqrt{H}}{2 \alpha I \omega \omega_0 - R [\alpha_0 \omega + (\alpha_0 - \alpha t) \omega_0] + 2 \alpha_0 (\alpha_0 - \alpha t) M}} \end{aligned} \right.$$

» Si l'on admet qu'après retour à la vitesse de régime la puissance primitivement égale à P soit devenue kP , on a

$$\alpha_0 M = P, \quad R \omega_0 = kP,$$

et l'équation précédente peut s'écrire

$$(5) \quad \left(\frac{\alpha I \omega^2 - (a_0 - \alpha t) \left(k \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{a_0 - \alpha t}{a_0} \right) P}{\alpha I \omega_0^2 + a_0 (1 - k) P} \right) = e^{-\frac{2kP}{\omega_0 \sqrt{H}} \arctan \frac{(a_0 \omega - (a_0 - \alpha t) \omega_0) \omega_0 \sqrt{H}}{2 \alpha I \omega \omega_0^2 + P (a_0 - \alpha t) (2 - k) \omega_0 - a_0 k \omega}},$$

équation dans laquelle

$$\sqrt{H} = \sqrt{\frac{4 \alpha I P}{a_0} - \frac{k^2 P^2}{\omega_0^2}}.$$

» Au début de la perturbation, la vitesse croît d'abord rapidement, puis, comme la résistance augmente avec la vitesse, tandis que la puissance diminue en même temps que l'ouverture de la vanne, il arrive un moment où la puissance et la résistance s'équilibrent.

» Mais, la vanne continuant à se fermer, l'écart entre la puissance et la résistance change de sens et la vitesse de la machine diminue. Cette vitesse passe donc par un maximum que caractérise l'équation

$$(6) \quad (a_0 - \alpha t_1) M = R \Omega$$

ou

$$(7) \quad a_0 - \alpha t_1 = a_0 k \frac{\Omega}{\omega_0}.$$

» L'équation qui donne la vitesse maximum s'écrit alors

$$(8) \quad \frac{\alpha I \Omega^2}{\alpha I \omega_0^2 + a_0 (1 - k) P} = e^{-\frac{2kP}{\omega_0 \sqrt{H}} \arctan \frac{a_0 (1 - k) \omega_0 \sqrt{H}}{2 \alpha I \omega_0^2 + a_0 k P (1 - k)}}.$$

» Si l'on admet, chose impossible en pratique, que la résistance puisse devenir complètement nulle, c'est-à-dire que l'on ait $k = 0$, l'exposant de e est égal à zéro et l'équation (8) donne

$$(9) \quad \Omega_{k=0} = \sqrt{\omega_0^2 + \frac{a_0 P}{\alpha I}}.$$

» Lorsque la vitesse angulaire repasse par la valeur initiale,

l'équation (5) devient

$$(10) \quad \left\{ \begin{aligned} & \frac{\alpha I \omega_0^2 - (a_0 - \alpha t \omega_0) \left(k - \frac{a_0 - \alpha t \omega_0}{a_0} \right) P}{\alpha I \omega_0^2 + a_0 (1 - k) P} \\ & = e^{-\frac{2kP}{\omega_0 \sqrt{H}} \arctan \frac{\alpha t \omega_0 \omega_0 \sqrt{H}}{2\alpha I \omega_0^2 + P[2(1-k)a_0 - (2-k)\alpha t \omega_0]}} \end{aligned} \right.$$

» *Équation d'une courbe d'ouverture.* — Cette équation correspond à une perturbation causée par un accroissement de résistance ou une diminution de la puissance entraînant immédiatement une diminution de la vitesse angulaire dont la correction exige une ouverture de la vanne.

» L'équation générale s'écrit alors

$$(11) \quad M(a_0 + \alpha t) dt - R \omega dt - I \omega d\omega = 0,$$

qui donne, après intégration,

$$(12) \quad \left\{ \begin{aligned} & \text{Log} \frac{\alpha I \omega^2 - (a_0 + \alpha t) R \omega + (a_0 - \alpha t)^2 M}{\alpha} \\ & = -\frac{R}{\sqrt{H}} \text{Log} \frac{2\alpha I \omega + (a_0 + \alpha t)(\sqrt{H} + R)}{2\alpha I \omega - (a_0 + \alpha t)(\sqrt{H} - R)} + \text{const.}, \end{aligned} \right.$$

dans laquelle

$$\sqrt{H} = \sqrt{4\alpha I M + R^2}.$$

» Déterminant la constante d'intégration pour $t = 0$, $\omega = \omega_0$, l'équation précédente devient

$$(13) \quad \left\{ \begin{aligned} & \frac{\alpha I \omega^2 + (a_0 + \alpha t) R \omega - (a_0 + \alpha t)^2 M}{\alpha I \omega_0^2 + a_0 R \omega_0 - a_0^2 M} \\ & = \left[\frac{2\alpha I \omega - (a_0 + \alpha t)(\sqrt{H} - R)}{2\alpha I \omega_0 - a_0(\sqrt{H} - R)} \times \frac{2\alpha I \omega_0 + a_0(\sqrt{H} + R)}{2\alpha I \omega + (a_0 + \alpha t)(\sqrt{H} + R)} \right]^{\frac{R}{\sqrt{H}}}. \end{aligned} \right.$$

» Si l'on admet qu'après retour à la vitesse de régime, la puissance initiale P prenne la valeur kP , on a

$$a_0 M = P, \quad R \omega_0 = kP,$$

et l'équation précédente peut s'écrire

$$(14) \left\{ \begin{aligned} & \frac{\alpha I \omega^2 + (a_0 + \alpha t) \left(k \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{a_0 + \alpha t}{a_0} \right) P}{\alpha I \omega_0^2 + a_0 P (k - 1)} \\ & = \left[\frac{2 \alpha I \omega - (a_0 + \alpha t) \left(\sqrt{H} - \frac{k P}{\omega_0} \right)}{2 \alpha I \omega_0 - a_0 \left(\sqrt{H} - \frac{k P}{\omega_0} \right)} \times \frac{2 \alpha I \omega_0 + a_0 \left(\sqrt{H} + \frac{k P}{\omega_0} \right)}{2 \alpha I \omega + (a_0 + \alpha t) \left(\sqrt{H} + \frac{k P}{\omega_0} \right)} \right]^{\frac{k P}{\omega_0 \sqrt{H}}} \end{aligned} \right.$$

$\sqrt{H}$ étant égal à $\sqrt{\frac{4 \alpha I P}{a_0} + \frac{k^2 P^2}{\omega_0^2}}$.

» Il est facile de se rendre compte que la vitesse diminue d'abord, passe par un minimum et augmente ensuite dès que l'écart entre la puissance et la résistance a changé de sens.

» Au moment du minimum de ω on a

$$(a_0 + \alpha t) M = R \Omega$$

ou

$$(15) \quad a_0 + \alpha t = a_0 k \frac{\Omega}{\omega_0}.$$

» L'équation qui donne la valeur minimum de ω devient alors

$$(16) \left\{ \begin{aligned} & \frac{\alpha I \Omega^2}{\alpha I \omega_0^2 + a_0 (k - 1) P} \\ & = \left[\frac{2 \alpha I \omega_0^2 - a_0 k (\sqrt{H} \omega_0 - k P)}{2 \alpha I \omega_0^2 - a_0 (\sqrt{H} \omega_0 - k P)} \times \frac{2 \alpha I \omega_0^2 + a_0 (\sqrt{H} \omega_0 + k P)}{2 \alpha I \omega_0^2 + a_0 k (\sqrt{H} \omega_0 + k P)} \right]^{\frac{k P}{\omega_0 \sqrt{H}}} \end{aligned} \right.$$

» Lorsque la vitesse angulaire repasse par la valeur initiale ω_0 l'équation (14) devient

$$(17) \left\{ \begin{aligned} & \frac{\alpha I \omega_0^2 + (a_0 + \alpha t_{\omega_0}) \left(k - \frac{a_0 + \alpha t_{\omega_0}}{a_0} \right) P}{\alpha I \omega_0^2 + a_0 (k - 1) P} \\ & = \frac{(2 \alpha I \omega_0^2 + P [2 a_0 (1 - k) + \alpha t_{\omega_0} (2 - k)] + \alpha t_{\omega_0} \sqrt{H} \omega_0)^{\frac{k P}{\omega_0 \sqrt{H}}}}{(2 \alpha I \omega_0^2 - P [2 a_0 (1 - k) + \alpha t_{\omega_0} (2 - k)] + \alpha t_{\omega_0} \sqrt{H} \omega_0)} \end{aligned} \right.$$

RÉGULATEUR A ACTION CONTINUE. TRACÉ D'UNE COURBE A LONGUES PÉRIODES.

» Reprenons l'équation de fermeture précédemment étudiée. Nous avons vu que la vitesse angulaire, d'abord croissante, passe par un maximum et décroît ensuite pour repasser par la valeur ω_0 .

» On peut montrer qu'il existe, entre l'instant de la vitesse maximum et celui du retour à la vitesse de régime, un autre instant où l'ouverture de vanne est compatible avec l'équilibre entre la puissance et la résistance pour la vitesse de régime.

» Soit t_r le temps qui s'est écoulé depuis l'origine du mouvement jusqu'à l'instant où la vanne atteint la position que nous venons de caractériser.

» On a évidemment

$$(18) \quad (\alpha_0 - \alpha t_r) M = R \omega_0$$

ou bien

$$(19) \quad t_r = \frac{\alpha_0}{\alpha} (1 - k).$$

» Des équations (6) et (18) on déduit évidemment

$$t_1 < t_r.$$

» Il s'agit maintenant de démontrer que l'on a également

$$t_r < t_{\omega_0}$$

ou, ce qui revient au même,

$$\omega_r > \omega_0.$$

» Substituons dans l'équation (5) la valeur de t_r tirée de (19).

» Il vient

$$(20) \quad \left(\frac{\alpha I \omega_r^2 - \alpha_0 k^2 \left(\frac{\omega_r}{\omega_0} - 1 \right) P}{\alpha I \omega_0^2 + \alpha_0 (1 - k) P} \right) = e^{-\frac{2kP}{\omega_0 \sqrt{H}} \arctan \frac{\alpha_0 \left(1 - k \frac{\omega_0}{\omega_r} \right) \omega_0 \sqrt{H}}{2 \alpha I \omega_0^2 + \alpha_0 k P \left[\left(2 - k \right) \frac{\omega_0}{\omega_r} - k \right]}}.$$

» En faisant dans cette équation $\omega_r = \omega_0$, on retomberait sur l'équation (8) et l'on devrait satisfaire à la condition inadmissible $\omega_r = \omega_0 = \Omega$. L'équation (20) montre également l'absurdité de $\omega_r < \omega_0$ et la seule hypothèse acceptable est celle de $\omega_r > \omega_0$, laquelle correspond, comme nous l'avons dit, à $t_r < t_{\omega_0}$.

» Après avoir établi cette proposition, dont l'importance apparaîtra plus loin, considérons maintenant ce qui se passe pour une action continue du régulateur provoquant la fermeture de la vanne

pour toute vitesse supérieure à ω_0 et son ouverture pour toute vitesse inférieure à ω_0 .

» Nous savons qu'au moment où la vitesse repasse par sa valeur de régime l'ouverture de vanne $\alpha_0 - \alpha t_{\omega_0}$ est inférieure à celle $\alpha_0 - \alpha t_r$ qui correspond à l'équilibre entre la puissance et la résistance pour la vitesse ω_0 . A ce moment, par conséquent, on a

$$(\alpha_0 - \alpha t_{\omega_0})M < R_{\omega_0},$$

et la vitesse continuera à diminuer. Mais, comme la vanne commence à s'ouvrir dès que la vitesse angulaire est moindre que ω_0 , nous aurons alors une courbe d'ouverture, caractérisée par un écart k' tel que

$$\frac{R_{\omega_0}}{(\alpha_0 - \alpha t_{\omega_0})M} = k', \quad k' > 1.$$

» La vitesse, après avoir décro, passera par un minimum, croitra de nouveau et reviendra encore à la vitesse de régime, mais sans que l'équilibre soit réalisé. On aura ensuite une nouvelle courbe de fermeture, et ainsi de suite, les variations successives de la vitesse formant une série d'oscillations périodiques dont l'amplitude décroît indéfiniment sans devenir nulle, car il est facile de montrer que les valeurs successives de k forment une série dont les termes sont alternativement plus grands et plus petits que l'unité sans que la différence positive ou négative soit jamais nulle.

» Les figures 12 et 13 caractérisent les premières périodes de ces oscillations indéfinies.

» La figure 12 représente les variations de la vitesse de la machine

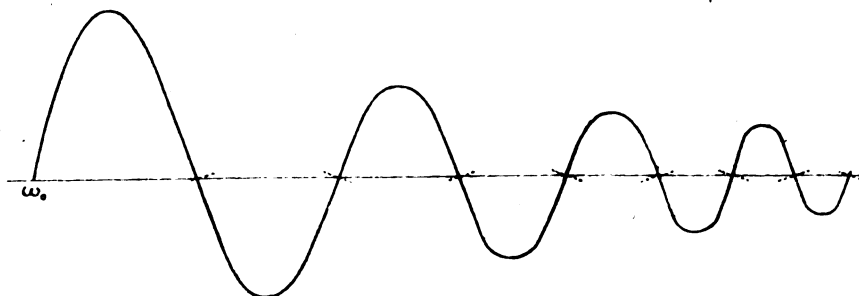


Fig. 12. — Variations de la vitesse de la machine en fonction du temps.

en fonction du temps en prenant pour ordonnées les vitesses et pour les abscisses les temps.

» La figure 13 est le diagramme imaginé par M. Léauté. On le

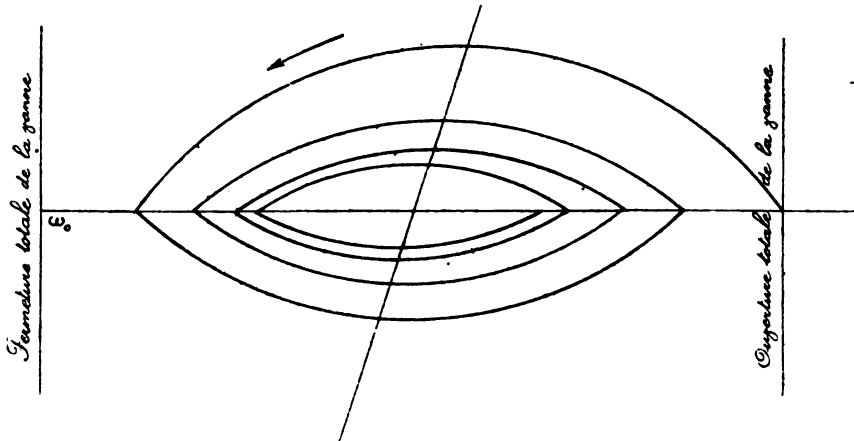


Fig. 13. — Diagramme de M. Léauté.

trace en prenant pour abscisses les ouvertures de vanne et pour ordonnées les vitesses correspondantes.

» Il convient de remarquer une fois encore que l'adjonction d'un régulateur tel que nous l'avons imaginé ne peut réaliser la correction d'une perturbation mais seulement provoquer un état d'oscillation permanent de la vitesse.

PRINCIPE DU RÉGULATEUR A ACTION DISCONTINUE.

» Imaginons toujours le même régulateur sans frottements et obéissant par suite aux moindres variations de la vitesse angulaire, mais dont l'action sera interrompue à un moment déterminé par l'intervention d'un mécanisme additionnel provoquant la rupture du courant qui actionne le moteur de commande du vannage.

» Considérons d'abord l'équation de fermeture et admettons que la rupture se produise au temps t_R après l'origine de la perturbation.

» La vitesse au moment de l'arrêt du déplacement de la vanne est donnée par l'équation

$$(21) \quad \left\{ \begin{aligned} & \frac{\alpha I \omega_R^2 - (a_0 - \alpha t_R) \left(k \frac{\omega_0}{\omega_R} - \frac{a_0 - \alpha t_R}{a_0} \right) P}{\alpha I \omega_0^2 + a_0 (1 - k) P} \\ & = e^{-\frac{2kP}{\omega_0 \sqrt{11}} \arctan \frac{[a_0 \omega_R - (a_0 - \alpha t_R) \omega_0] \omega_0 \sqrt{11}}{2\alpha I \omega_0^2 \omega_R + P [(a_0 - \alpha t_R)^2 - k] \omega_0 - a_0 k \omega_R}} \end{aligned} \right.$$

» La fermeture de la vanne étant interrompue et la puissance devenue constante, la vitesse obéit alors à l'équation suivante :

$$(22) \quad (a_0 - \alpha t_R) M dt = R \omega dt + I \omega d\omega,$$

d'où, en intégrant,

$$(23) \quad t_{\omega_R} = \frac{I \omega_0}{k P} \left\{ \log \left[\frac{(a_0 - \alpha t_R) \omega_0 - a_0 k \omega_R}{(a_0 - \alpha t_R) \omega_0 - a_0 k \omega} \right] \frac{(a_0 - \alpha t_R) \omega_0}{a_0 k} + (\omega_R - \omega) \right\}.$$

» Pour $t_R = t_1$, on a $\frac{d\omega}{dt} = 0$, et la vitesse de régime égale à Ω se trouve atteinte à l'instant même du maximum.

» Pour $t_R < t_1$ ou $t_R > t_1$, la valeur maximum ou minimum de ω , c'est-à-dire la nouvelle vitesse de régime, n'est atteinte qu'au bout d'un temps infini, ce qui suppose évidemment

$$(a_0 - \alpha t_R) \omega_0 = k a_0 \omega$$

ou bien

$$\omega = \frac{a_0 - \alpha t_R}{k a_0} \omega_0.$$

» Suivant que $a_0 - \alpha t_R$ sera plus petit ou plus grand que $a_0 k$ le maximum ou le minimum de ω sera supérieur ou inférieur à ω_0 .

Il lui sera précisément égal pour $t_r = (1 - k) \frac{a_0}{\alpha}$, c'est-à-dire que si l'on interrompt le déplacement de la vanne à cet instant précis, la vitesse reviendra à la valeur normale de régime ω_0 , qu'elle n'atteindra, du reste, qu'après un temps infini. Nous verrons plus loin que les conditions pratiques de fonctionnement de l'appareil comportent un résultat différent, pour ce qui concerne la durée de la correction.

» Les conclusions précédentes s'appliquant aussi bien à une courbe d'ouverture, nous pouvons considérer comme établi le principe d'un régulateur à action discontinue capable de ramener en une seule période la vitesse perturbée à sa valeur de régime. Il suffit pour cela que le déplacement de la vanne soit interrompu au moment précis où l'ouverture est devenue $k a_0$.

II. Étude de l'action du régulateur en tenant compte des conditions pratiques de son fonctionnement.

» Nous devons maintenant faire intervenir diverses conditions pratiques dont nous ne retiendrons que les suivantes :

» 1° Par suite des frottements, une vitesse donnée ne détermine plus une position unique d'équilibre du manchon et comme ces frottements changent de signe suivant que le manchon tend à monter ou à descendre, il ne peut passer par la même position, suivant qu'il monte ou descend, que pour des vitesses différentes de la turbine. Cet effet des frottements se traduira, pour notre régulateur, par un retard à l'origine ou à la fin des contacts, c'est-à-dire à la mise en marche ou à l'arrêt du moteur.

» Comme la mise en marche du moteur, dans un sens ou dans l'autre, se produit pour des vitesses voisines de ω_0 , on peut considérer le retard comme constant dans l'un et l'autre cas. Il n'en est plus de même pour la rupture des contacts, qui correspond à des vitesses variables avec le sens et l'intensité de la perturbation. Mais on verra plus loin que, dans ce cas, il nous importe moins de connaître la valeur exacte du retard qu'une certaine limite de cette valeur que nous supposerons déterminée expérimentalement pour chaque appareil.

» 2° Les plongeurs envisagés dans la position de régime doivent subir un déplacement linéaire constant avant de provoquer la mise en marche du moteur. Ce déplacement correspond également à une certaine variation de la vitesse angulaire.

» Pour simplifier les calculs nous admettrons que les influences réunies des frottements et de l'écartement des contacts occasionnent avant la mise en marche dans un sens ou dans l'autre une période d'immobilité de la vanne qui dure jusqu'à ce que la vitesse atteigne la valeur $\omega_0(1 + \epsilon)$.

» 3° Les plongeurs subissent également un déplacement linéaire déterminé depuis l'origine du mouvement de rupture jusqu'à l'instant où elle se produit effectivement.

» Nous admettrons encore que ce retard, combiné avec celui dû au frottement, exige une variation $\epsilon'\omega_0$.

» 4° Nous admettons comme régime normal l'ensemble des valeurs de la vitesse angulaire comprises entre $\omega_0(1 - \gamma)$ et $\omega_0(1 + \gamma)$, γ étant une fraction variable suivant les applications. En fait, on construira toujours le régulateur de telle façon que l'on ait à peu près exactement $\gamma = \varepsilon$, ce qui permet de confondre les deux limites.

» 5° Le facteur d'amplitude du pendule centrifuge est égal à β , c'est-à-dire que le manchon arrive aux deux extrémités de sa course pour $\omega_0(1 + \beta)$ et $\omega_0(1 - \beta)$; ou, en d'autres termes, β est le coefficient de variation de la vitesse angulaire qui provoque le déplacement limite du manchon.

» Ces conditions posées, reprenons les équations qui définissent les diverses phases de la correction d'une perturbation.

ÉTUDE PRATIQUE DU MOUVEMENT.

» Envisageons encore une perturbation instantanée produisant un écart entre la puissance et la résistance et provoquant le déplacement de la vanne dès que la vitesse franchira l'une des limites $\omega_0(1 + \varepsilon)$ ou $\omega_0(1 - \varepsilon)$.

» 1° *Période d'immobilité de la vanne dans la zone du régime.* — Entre ω_0 et $\omega_0(1 \pm \varepsilon)$ le mouvement est régi par l'équation

$$(24) \quad a_0 M dt - R \omega dt - I \omega d\omega = 0,$$

qui donne, en intégrant et remplaçant M et R en fonction de P et k ,

Courbe de fermeture.

$$(25) \quad t_1 = \frac{I \omega_0^2}{k P} \left[\log \left(\frac{1}{1 - \frac{\varepsilon k}{1 - k}} \right)^{\frac{1}{k}} - \varepsilon \right],$$

Courbe d'ouverture.

$$(26) \quad t_1 = \frac{I \omega_0^2}{k P} \left[\log \left(\frac{1}{1 + \frac{\varepsilon k}{1 - k}} \right)^{\frac{1}{k}} + \varepsilon \right].$$

» 2° *Période de déplacement de la vanne.* — Dès que la vitesse franchit l'une des limites de la zone de régime, le moteur se met en marche et produit le déplacement de la vanne dans le sens de la fer-

meture ou de l'ouverture, suivant le sens de l'écart entre la puissance et la résistance.

» L'équation du mouvement devient alors

$$(27) \quad M(a_0 \pm \alpha t) dt - R \omega dt - I \omega d\omega = 0$$

qui donne, après intégration et remplacement de M et R en fonction de P et k :

Courbe de fermeture.

$$(28) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\alpha I \omega^2 - (a_0 - \alpha t) \left(k \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{a_0 - \alpha t}{a_0} \right) P}{\alpha I (1 + \varepsilon)^2 \omega_0^2 + a_0 [1 - (1 + \varepsilon) k] P} \\ = e^{-\frac{2kP}{\omega_0 \sqrt{H}} \arctan \frac{[a_0 \omega - (a_0 - \alpha t)(1 + \varepsilon) \omega_0] \omega_0 \sqrt{H}}{2 \alpha I (1 + \varepsilon) \omega_0^2 \omega - a_0 k P \omega + (a_0 - \alpha t)[2 - (1 + \varepsilon) k] P \omega_0}} \end{array} \right.$$

Courbe d'ouverture.

$$(29) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\alpha I \omega^2 + (a_0 + \alpha t) \left(k \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{a_0 + \alpha t}{a_0} \right) P}{\alpha I (1 - \varepsilon)^2 \omega_0^2 + a_0 P [k(1 - \varepsilon) - 1]} \\ = \left[\frac{2 \alpha I \omega - (a_0 + \alpha t) \left(\sqrt{H} - \frac{kP}{\omega_0} \right)}{2 \alpha I (1 - \varepsilon) \omega_0 - a_0 \left(\sqrt{H} - \frac{kP}{\omega_0} \right)} \times \frac{2 \alpha I (1 - \varepsilon) \omega_0 + a_0 \left(\sqrt{H} + \frac{kP}{\omega_0} \right)}{2 \alpha I \omega + (a_0 + \alpha t) \left(\sqrt{H} + \frac{kP}{\omega_0} \right)} \right]^{\frac{kP}{\omega_0 \sqrt{H}}} \end{array} \right.$$

» Le maximum ou le minimum de la vitesse angulaire correspondent, comme nous l'avons dit, à la condition

$$a_0 \pm \alpha t_1 = a_0 k \frac{\Omega}{\omega_0}$$

dont on déduit :

Courbe de fermeture.

$$(30) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\alpha I \Omega^2}{\alpha I (1 + \varepsilon)^2 \omega_0^2 + a_0 [1 - (1 + \varepsilon) k] P} \\ = e^{-\frac{2kP}{\omega_0 \sqrt{H}} \arctan \frac{a_0 [1 - (1 + \varepsilon) k] \omega_0 \sqrt{H}}{2 \alpha I (1 + \varepsilon) \omega_0^2 + a_0 k [1 - (1 + \varepsilon) k] P}} \end{array} \right.$$

Courbe d'ouverture.

$$(31) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\alpha I \Omega^2}{\alpha I (1 - \varepsilon)^2 \omega_0^2 + a_0 [k(1 - \varepsilon) - 1] P} \\ = \left[\frac{2 \alpha I \omega_0^2 + a_0 k (\sqrt{H} \omega_0 - kP)}{2 \alpha I (1 - \varepsilon) \omega_0^2 - a_0 (\sqrt{H} \omega_0 - kP)} \times \frac{2 \alpha I (1 - \varepsilon) \omega_0^2 + a_0 (\sqrt{H} \omega_0 + kP)}{2 \alpha I \omega_0^2 - a_0 k (\sqrt{H} \omega_0 - kP)} \right]^{\frac{kP}{\omega_0 \sqrt{H}}} \end{array} \right.$$

» Enfin, si l'on interrompt le déplacement de la vanne lorsque l'ouverture est exactement ka_0 , c'est-à-dire lorsque la vanne est dans la position compatible avec le retour à la vitesse de régime, la vitesse

au moment de l'arrêt peut être calculée par les formules :

Courbe de fermeture.

$$(32) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\alpha I \omega_r^2 - \alpha_0 k^2 \left(\frac{\omega_r}{\omega_0} - 1 \right) P}{\alpha I (1 + \varepsilon)^2 \omega_0^2 + \alpha_0 [1 - (1 + \varepsilon) k] P} \\ = e^{-\frac{2 k P}{\omega_0 \sqrt{H}} \arctan \frac{\alpha_0 [\omega_r - k(1 + \varepsilon) \omega_0] \omega_0 \sqrt{H}}{2 \alpha I (1 + \varepsilon) \omega_0^2 \omega_r - \alpha_0 k P \{ 2 - (1 + \varepsilon) k \} \omega_0 - \omega_r}} \end{array} \right.$$

Courbe d'ouverture.

$$(33) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\alpha I \omega_r^2 - \alpha_0 k^2 \left(1 - \frac{\omega_r}{\omega_0} \right)}{\alpha I (1 - \varepsilon)^2 \omega_0^2 + \alpha_0 [k(1 - \varepsilon) - 1] P} \\ = \left[\frac{2 \alpha I \omega_0 \omega_r - \alpha_0 k (\sqrt{H} \omega_0 - k P)}{2 \alpha I (1 - \varepsilon) \omega_0^2 - \alpha_0 (\sqrt{H} \omega_0 - k P)} \times \frac{2 \alpha I (1 - \varepsilon) \omega_0^2 + \alpha_0 (\sqrt{H} \omega_0 + k P)}{2 \alpha I \omega_0 \omega_r + \alpha_0 k (\sqrt{H} \omega_0 + k P)} \right]^{\frac{k P}{\omega_0 \sqrt{H}}} \end{array} \right.$$

» 3^e Période d'interruption du déplacement de la vanne. — Mais il faut observer que dans notre régulateur la rupture du courant se produit lorsque, après avoir passé par sa position extrême, supérieure ou inférieure, le manchon a parcouru en sens inverse une fraction constante de sa course, fraction que l'on peut déterminer par un réglage préalable.

» Or, comme le déplacement du manchon entre t_i et t_r n'est pas constant et dépend de l'amplitude de la perturbation, la rupture ne pourrait se produire qu'exceptionnellement à l'instant précis t_r .

» Si elle se produisait pour une ouverture de vanne inférieure à $k\alpha_0$, la machine prendrait une vitesse de régime supérieure ou inférieure à ω_0 et peut-être à $\omega_0(1 \pm \varepsilon)$; et, comme les bossages de l'équipage mobile ont une forme telle que les déclenchements des cliquets se produisent en des points très voisins des limites $\omega_0(1 + \varepsilon)$ et $\omega_0(1 - \varepsilon)$, il se pourrait que la nouvelle vitesse de régime ne fût pas comprise dans la zone de déclenchement.

» Dans ce cas, l'un des couples de plongeurs resterait accroché au niveau qu'il occupait au moment de la rupture et les perturbations de même sens, mais de moindre intensité que celle qu'il s'agissait de corriger, ne pourraient plus bénéficier de l'action régulatrice jusqu'au moment où une variation inverse produirait le déclenchement en faisant rentrer la vitesse dans les limites $\omega_0(1 \pm \varepsilon)$.

» Pour assurer le bon fonctionnement de l'appareil, il faut donc provoquer la rupture du courant pour une ouverture au moins égale

à ka_0 et l'on peut dire que, en règle générale, la rupture se fait pour une ouverture supérieure à ka_0 .

» Il est évident que, dans cette dernière hypothèse, le retour à la vitesse de régime ne peut se faire en une seule période; mais, en fait, il s'effectue avec un amortissement si rapide des périodes consécutives à la première que le résultat peut être considéré comme pratiquement équivalent. Quoi qu'il en soit, examinons le cas de la rupture pour l'ouverture $a_0 k$ et calculons le temps qui s'écoulera depuis la rupture jusqu'au retour de la vitesse dans la zone des valeurs de régime.

» L'équation qui définit le mouvement après la rupture s'écrit

$$(34) \quad M(a_0 \mp \alpha t_r) dt - R \omega dt - I \omega d\omega = 0.$$

» La vitesse reviendra donc à la limite la plus rapprochée des valeurs de régime au bout d'un temps t donné par les expressions suivantes :

Courbe de fermeture.

$$(35) \quad t_{\omega_r^{(1+\varepsilon)}}^{\omega_0} = \frac{I \omega_0}{k P} \left\{ \log \left(\frac{\omega_r - \omega_0}{\varepsilon \omega_0} \right)^{\omega_0} + [\omega_r - \omega_0 (1 + \varepsilon)] \right\}.$$

Courbe d'ouverture.

$$(36) \quad t_{\omega_r^{(1-\varepsilon)}}^{\omega_0} = \frac{I \omega_0}{k P} \left\{ \log \left(\frac{\omega_0 - \omega_r}{\varepsilon \omega_0} \right)^{\omega_0} - [\omega_0 (1 - \varepsilon) - \omega_r] \right\}$$

» Les courbes des figures 14 et 16 sont tracées en prenant les

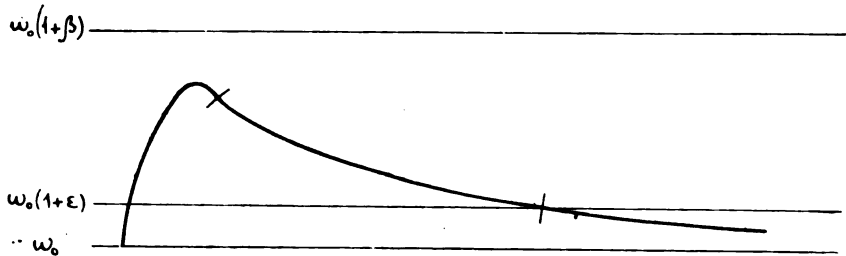


Fig. 14.

temps pour abscisses et les vitesses pour ordonnées; les courbes des figures 15 et 17 sont des diagrammes de Léauté.

» Reprenons la condition pratique de rupture se produisant un instant après que l'ouverture de vanne a passé par la valeur ka_0 .

Nous avons dit que ce retard peut être considéré comme exigeant

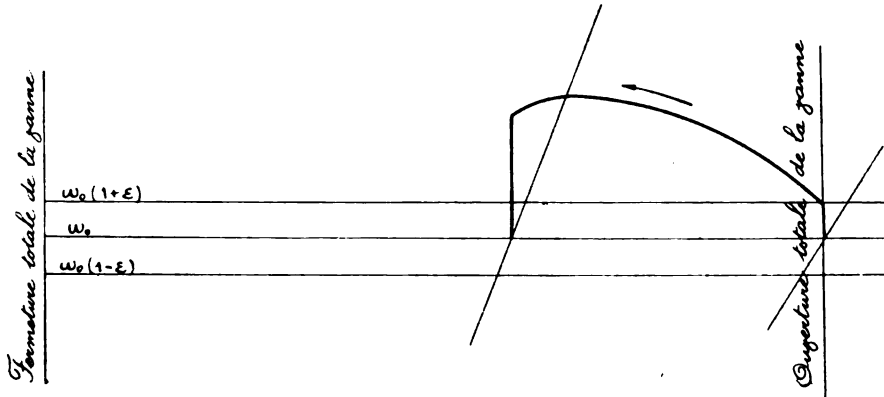


Fig. 15.

une variation constante $\varepsilon'\omega_0$. En fait, il comporte une partie fixe

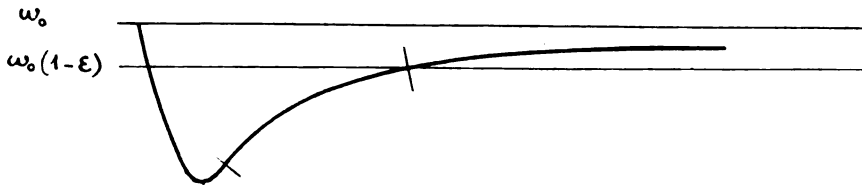


Fig. 16.

due à la profondeur d'immersion des plongeurs et une partie

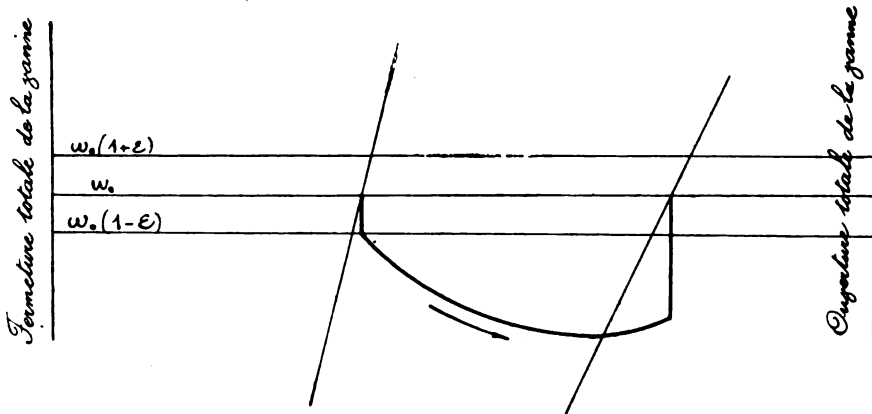


Fig. 17.

variable due aux frottements, mais l'erreur commise est assez petite pour être négligée.

» La rupture se produisant au temps qui correspond à $\Omega \mp \varepsilon'\omega_0$,

on a, suivant qu'il s'agit d'une courbe de fermeture ou d'ouverture :

Fermeture..... $\Omega - \varepsilon' \omega_0 < \omega_r$

Ouverture..... $\Omega + \varepsilon' \omega_0 > \omega_r$

Après avoir calculé Ω par l'une des équations (30) ou (31) on déterminera t_R au moyen de l'une des équations (28) ou (29) et l'on en déduira l'ouverture de vanne $\alpha_0 \mp \alpha t_R$.

» A partir de t_R , la puissance restant constante, le mouvement est défini par l'équation

$$(37) \quad M(\alpha_0 \mp \alpha t_R) dt - R \omega dt - I \omega d\omega = 0,$$

qui donne, après intégration :

Courbe de fermeture.

$$(38) \quad t \frac{\omega_r}{\omega_0} = \frac{I \omega_0}{k P} \left\{ \log \left[\frac{k a_0 \omega_r - (\alpha_0 - \alpha t_R) \omega_0}{k a_0 \omega - (\alpha_0 - \alpha t_R) \omega_0} \right]^{\frac{(\alpha_0 - \alpha t_R) \omega_0}{a_0 k}} + (\omega_r - \omega) \right\}.$$

Courbe d'ouverture.

$$(39) \quad t \frac{\omega_r}{\omega_0} = \frac{I \omega_0}{k P} \left\{ \log \left[\frac{(\alpha_0 + \alpha t_R) \omega_0 - k a_0 \omega_r}{(\alpha_0 + \alpha t_R) \omega_0 - k a_0 \omega} \right]^{\frac{(\alpha_0 + \alpha t_R) \omega_0}{a_0 k}} - (\omega - \omega_r) \right\}.$$

» Comme on l'a vu précédemment, le maximum ou le minimum de ω est une valeur limite correspondant à $t = \infty$.

» Or, pour $t = \infty$, on a

$$(\alpha_0 \mp \alpha t_R) \omega_0 - k a_0 \omega = 0$$

ou bien

$$(40) \quad \omega = \frac{(\alpha_0 \mp \alpha t_R) \omega_0}{k a_0}.$$

» La vitesse rentrera donc dans les limites de régime en une ou plusieurs périodes consécutives, suivant que l'on aura :

$$(41) \quad \text{Fermeture} \dots \dots \dots \alpha_0 - \alpha t_R > \text{ou} < (1 - \varepsilon) k a_0$$

$$(42) \quad \text{Ouverture} \dots \dots \dots \alpha_0 + \alpha t_R < \text{ou} > (1 + \varepsilon) k a_0$$

» Examinons maintenant une courbe de correction ayant débuté par une fermeture et comportant plusieurs périodes (*fig.* 18 et 19).

» Le mouvement étant d'abord régi par les équations (25), (28) et (38), nous arriverons à la vitesse $\omega_0(1 - \varepsilon)$ avec la condition

$$\alpha_0 - \alpha t_R < (1 - \varepsilon) k a_0.$$

» Nous sommes donc dans les mêmes conditions qu'à l'origine

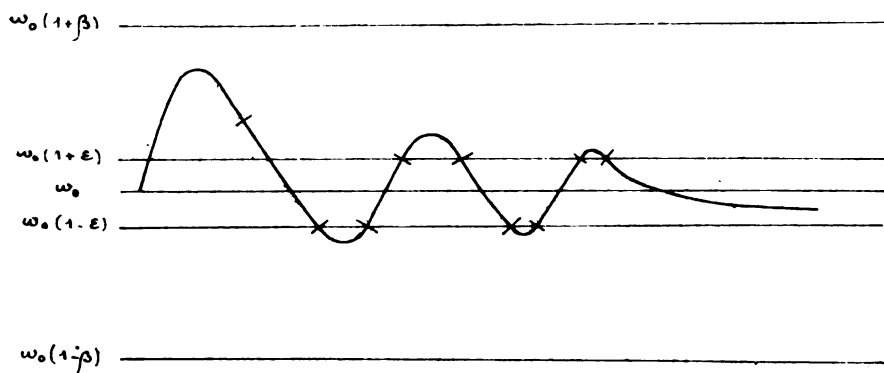


Fig. 18.

d'une perturbation dans laquelle a_0 serait devenu $a_0 - \alpha t_R$. Comme la correction théorique doit se produire pour l'ouverture ka_0 :

» Si l'on appelle k' le coefficient de perturbation de la nouvelle

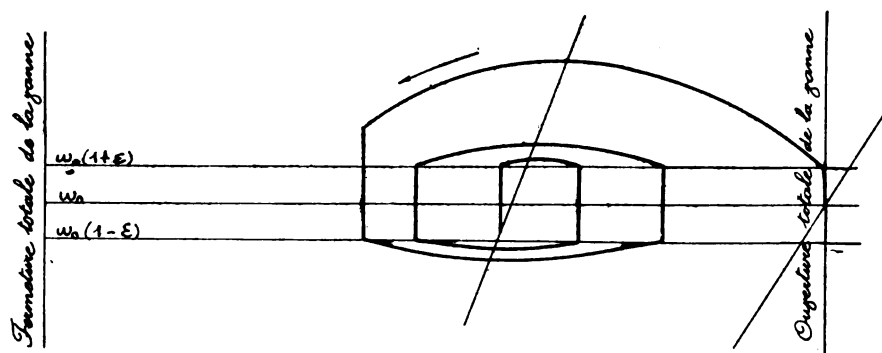


Fig. 19.

courbe, on aura

$$k'(a_0 - \alpha t_R) = ka_0.$$

» Or, k' est évidemment supérieur à l'unité puisque

$$a_0 - \alpha t_R < (1 - \varepsilon)ka_0,$$

ce qui revient à

$$k' > \frac{1}{1 - \varepsilon}.$$

» Il y aura donc une période d'ouverture et la partie de la courbe correspondant au déplacement de la vanne se calculera au moyen des équations (29), (31) et (33).

» Au moment de l'arrêt du déplacement de la vanne, l'ouverture sera

$$a_0 - \alpha(t_R - t_{R'}),$$

et pendant la période d'immobilité de la vanne la courbe se continuera conformément à l'équation

$$(43) \quad t_{\omega_R}^{\omega_{R'}} = \frac{I \omega_0}{k P} \left[\log \left\{ \frac{[a_0 - \alpha(t_R - t_{R'})] \omega_0 - k a_0 \omega_{R'}}{[a_0 - \alpha(t_R - t_{R'})] \omega_0 - k a_0 \omega} \right\}^{\frac{a_0 - \alpha(t_R - t_{R'}) \omega_0}{k a_0}} - (\omega - \omega_{R'}) \right].$$

» Comme le maximum de ω correspond à

$$\omega = \frac{[a_0 - \alpha(t_R - t_{R'})] \omega_0}{k a_0},$$

la correction s'achèvera ou ne s'achèvera pas dans la deuxième période, selon que ce maximum sera plus petit ou plus grand que $(1 + \varepsilon) \omega_0$, c'est-à-dire suivant que l'on aura

$$a_0 - \alpha(t_R - t_{R'}) < (1 + \varepsilon) k a_0$$

ou

$$a_0 - \alpha(t_R - t_{R'}) > (1 + \varepsilon) k a_0.$$

» On peut, pour les périodes successives, établir la loi d'amortissement et déterminer le nombre de périodes nécessaire pour le retour dans les limites de régime, mais les formules que nous

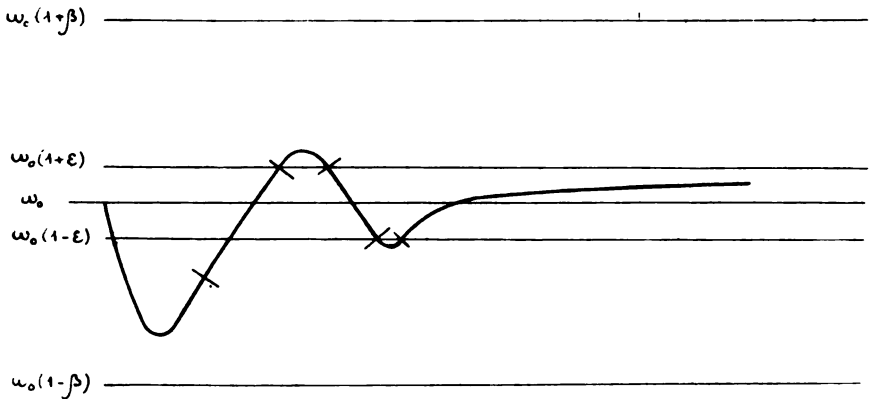


Fig. 20.

avons trouvées sont trop compliquées pour être intéressantes. Comme, d'autre part, en pratique et pour les perturbations d'amplitude moyenne, le nombre des périodes ne dépasse généralement pas

deux, le calcul, de proche en proche, ne présente aucune difficulté sérieuse.

» Les figures 20 et 21 se rapportent à une perturbation débutant

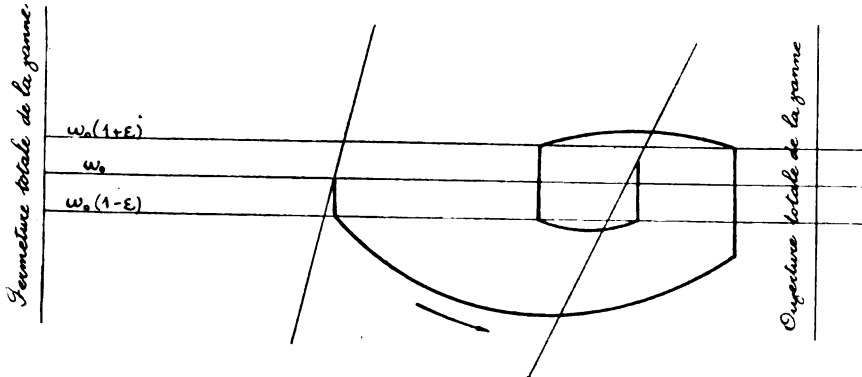


Fig. 21.

par une ouverture de vanne.

CAS PARTICULIERS.

» Il reste maintenant à concilier avec les conditions pratiques de fonctionnement du régulateur, le cas particulier d'une perturbation sortant des limites du facteur d'amplitude du pendule et d'une perturbation analogue aboutissant à la fermeture ou à l'ouverture complète de la vanne :

Fermeture..... $\Omega > (1 + \beta)\omega_0$

Ouverture $\Omega < (1 - \beta)\omega_0$

» Jusqu'à la rupture, le mouvement est toujours régi par les formules (24) et (27); à la période de fermeture ou d'ouverture succède encore une période d'immobilité de la vanne, pendant laquelle la vitesse franchit la zone des valeurs de régime, puis une période de déplacement de la vanne en sens inverse de la première, puis une nouvelle phase d'immobilité, et ainsi de suite.

» Les résultats ne diffèrent de ceux qui ont été obtenus pour les hypothèses précédentes que par un écart plus prononcé entre l'instant de la rupture effective et celui de la rupture compatible avec le retour immédiat à la vitesse de régime. Ce retard occasionne une

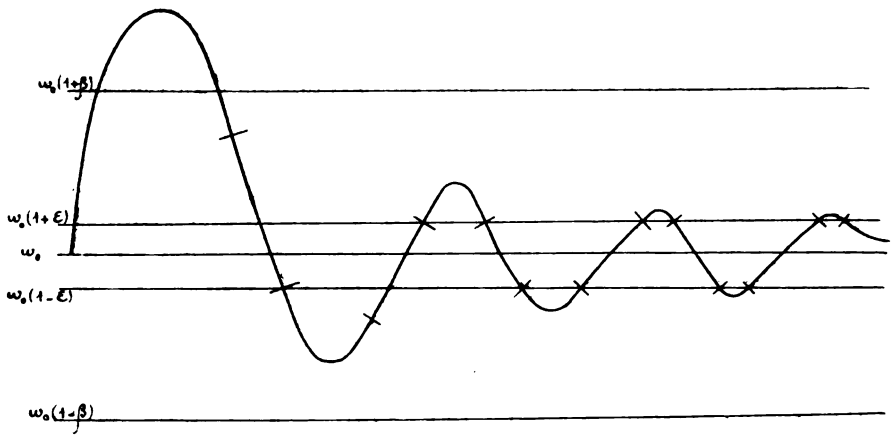


Fig. 22.

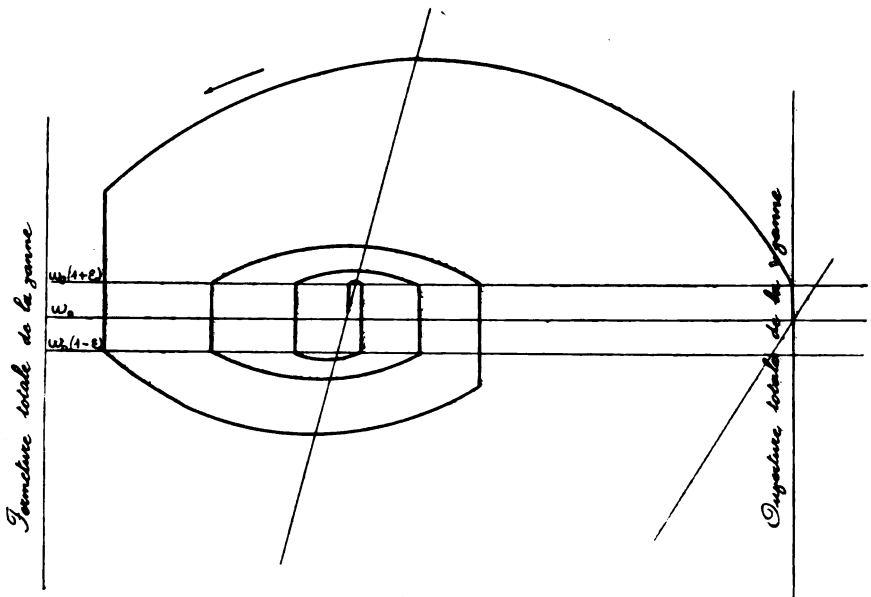


Fig. 23.

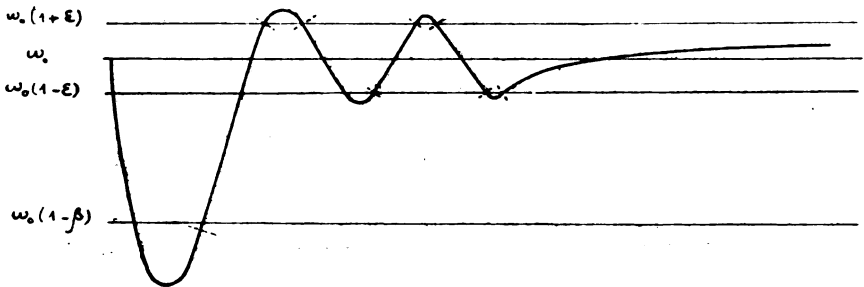


Fig. 24.

oscillation moins rapidement amortie et dont les courbes des figures 22, 23, 24 et 25 donnent une idée suffisamment exacte.

» Nous avons admis que le retard à la rupture correspond à une quantité à peu près constante $\varepsilon'\omega_0$, qui doit être plus grande que $\Omega - \omega_r$. Or, cette quantité $\Omega - \omega_r$ dépend évidemment de l'amplitude de la variation de vitesse. C'est donc pour la courbe d'amplitude maxima qu'il convient de régler pratiquement l'écart. Il suffit, pour déterminer Ω et ω_r , d'appliquer les formules précé-

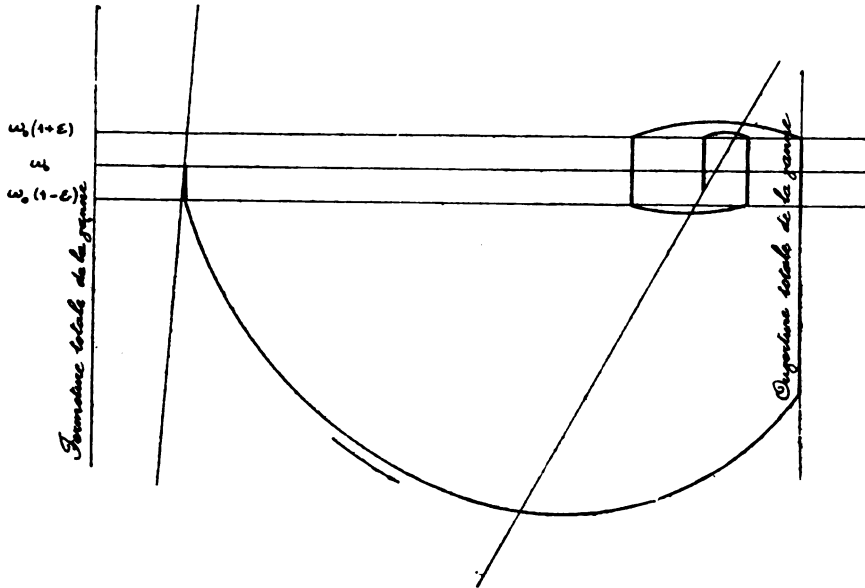


Fig. 25.

demment établies en faisant $\Omega = \omega_0(1 \pm \beta)$. Nous ne nous attarderons pas à ces calculs dont l'intérêt n'est pas très grand, car le réglage pratique se fait aisément et n'exige que deux ou trois expériences respectivement suivies d'une correction de hauteur des cuvettes par l'intermédiaire des vis de rappel.

» Deux autres cas sont encore à considérer : ce sont ceux de la fermeture ou de l'ouverture complète de la vanne au cours de l'action régulatrice. Ces deux cas sont respectivement définis par les conditions :

$$\begin{aligned} \text{Fermeture} & \dots\dots\dots \alpha_0 - \alpha t_{\omega_0(1+\beta)} < 0 \\ \text{Ouverture} & \dots\dots\dots \alpha_0 + \alpha t_{\omega_0(1-\beta)} > A \end{aligned}$$

» 1° *Cas de la fermeture complète.* — La vitesse correspondant

à la fermeture complète est donnée par la formule

$$(44) \quad \frac{\alpha I \omega_f^2}{\alpha I (1 + \varepsilon)^2 \omega_0^2 + a_0 [1 - (1 - \varepsilon) k] P} = e^{-\frac{2 k P}{\omega_0 \sqrt{H}} \arctan \frac{a_0 \omega_0 \sqrt{H}}{2 \alpha I (1 + \varepsilon) \omega_0 - a_0 k P}},$$

et l'instant de fermeture par

$$(45) \quad t_f = \frac{a_0}{\alpha}.$$

» Si l'on compare cette valeur de t_f avec celle de la rupture théorique

$$t_r = \frac{a_0}{\alpha} (1 - k),$$

on en déduit

$$t_f > t_r$$

et, *a fortiori*,

$$t_f > t_\Omega,$$

c'est-à-dire que la fermeture complète ne peut avoir lieu qu'après le maximum de la vitesse et même après l'instant qui correspond à l'ouverture de la vanne correspondant à l'équilibre pour le retour à la vitesse de régime.

» Après la fermeture complète, la vitesse décroît en fonction linéaire du temps d'après la formule

$$(46) \quad t = \frac{1}{R} (\omega_f - \omega);$$

elle franchit ensuite la zone des vitesses de régime pour entrer dans une période d'ouverture au début de laquelle la puissance est nulle, de telle sorte que l'équation du mouvement se simplifie et devient

$$(47) \quad \frac{a_0 I \omega_0 \omega^2 + (a_0 k \omega - \alpha \omega_0 t) P t}{I \omega_0^2} = \left[\frac{2 I \omega \omega_0 - (\sqrt{H} \omega_0 - k P) t}{2 I \omega \omega_0 + (\sqrt{H} \omega_0 + k P) t} \right]^{\frac{k P}{\omega_0 \sqrt{H}}},$$

et, pour le minimum,

$$(48) \quad \Omega = (1 - \varepsilon) \omega_0 \left[\frac{2 \alpha I \omega_0^2 - k a_0 (\sqrt{H} \omega_0 - k)}{2 \alpha I \omega_0^2 + k a_0 (\sqrt{H} \omega_0 + k)} \right]^{\frac{k P}{2 \omega_0 \sqrt{H}}}.$$

A cette période d'ouverture, succèdent d'autres oscillations qui s'amortissent comme dans les cas précédents.

» Les figures 26 et 27 se rapportent à ce cas.

» 2° *Cas de l'ouverture complète.* — Il peut arriver aussi que la

vanne soit complètement ouverte au cours de l'action régulatrice.

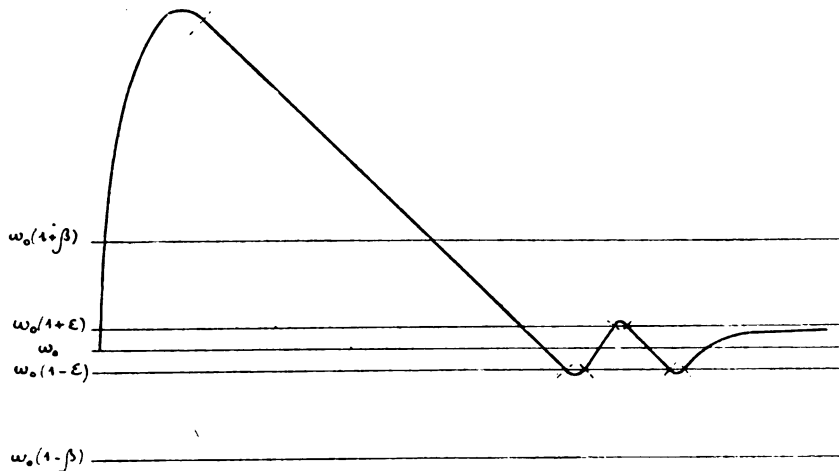


Fig. 26.

» On a alors

$$a_0 + \alpha t = A,$$

A étant l'ouverture complète du vannage.

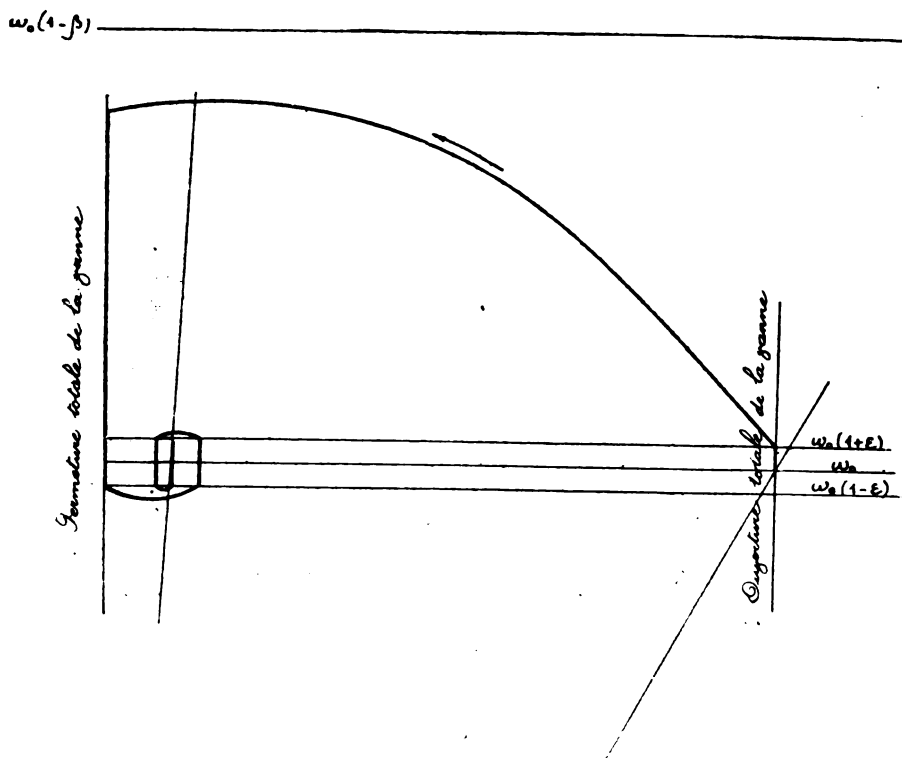


Fig. 27.

» L'ouverture complète peut se produire avant ou après le minimum de ω ou coïncider avec ce minimum.

» Dans le premier cas, l'action régulatrice est interrompue et la

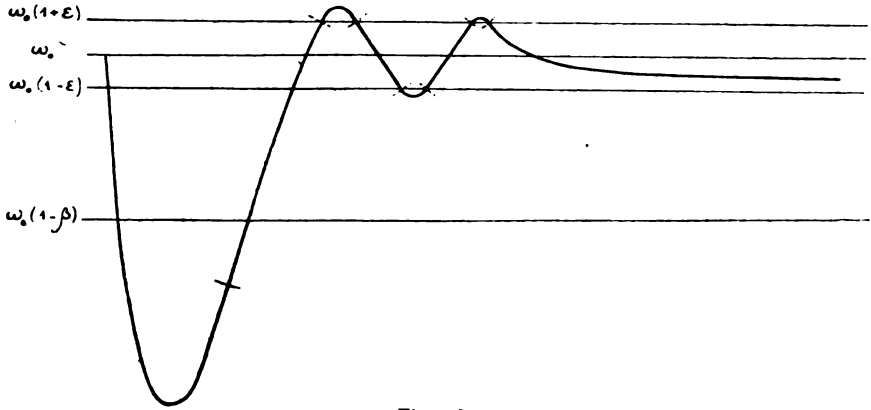


Fig. 28.

machine prend une vitesse de régime inférieure à la vitesse normale.

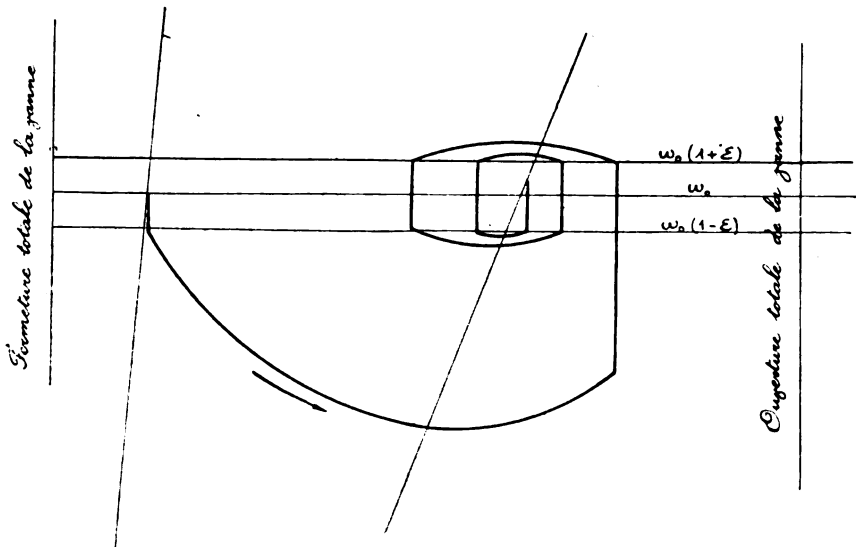


Fig. 29.

» Lorsque le minimum coïncide avec l'ouverture complète, on a évidemment

$$k \frac{\omega_{ouv}}{\omega_0} = \frac{A}{a_0},$$

d'où

$$(49) \quad \omega_{ouv} = \frac{A}{a_0 k} \omega_0 = \Omega.$$

» Le retour à la vitesse normale est encore impossible et la nouvelle vitesse de régime est Ω .

» Enfin, lorsque l'ouverture complète ne se produit qu'après le minimum, le retour à la vitesse normale est possible et s'effectue d'après des équations analogues à celles qui ont été établies précédemment.

» Les figures 28 et 29 se rapportent à ces cas.

Dispositif accessoire pour les cas de fermeture ou d'ouverture complète.

» La vanne étant bloquée à l'une de ses extrémités et le moteur subitement calé, l'induit serait certainement brûlé si l'on ne provoquait un instant avant l'arrêt un débrayage automatique du méca-

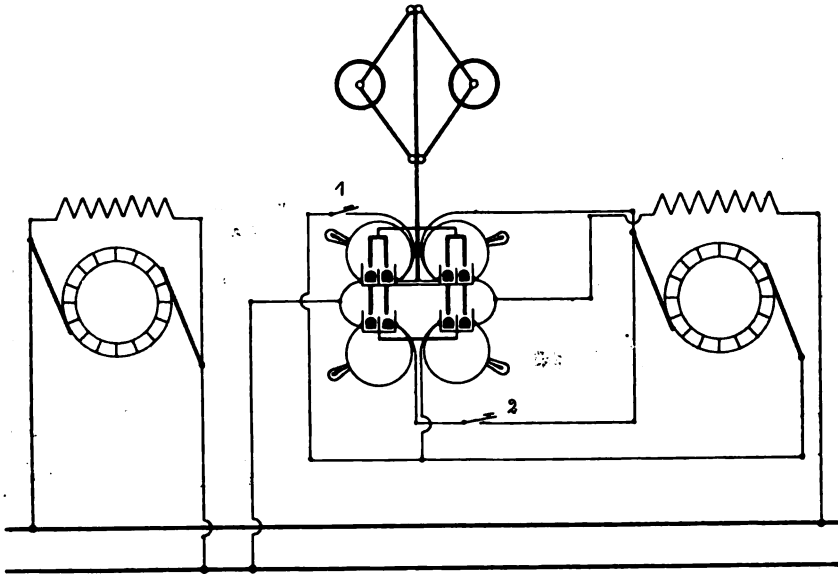


Fig. 30.

nisme de commande ou bien la rupture du courant qui actionne le moteur.

» C'est à la solution électrique que nous nous sommes arrêté.

» Nous interposons sur chacun des circuits du moteur un interrupteur à rupture brusque manœuvré par un levier à came relié à un bouton placé près de chacune des extrémités de la vanne.

» Un peu avant la fermeture ou l'ouverture complète, la vanne agit sur ce bouton et provoque la rupture du circuit; lorsque la

vitesse repasse par la zone des vitesses de régime, elle provoque la mise en marche du moteur en fermant le circuit inverse dont l'interrupteur n'a pas été touché; la vanne se déplace alors en sens contraire du mouvement précédent et referme le premier interrupteur, de telle manière que les choses reviennent en l'état dans lequel elles se trouvaient à l'origine de la perturbation.

» On se rendrait facilement compte que l'amortissement est tel que le phénomène accidentel que nous venons de considérer ne peut se reproduire deux fois de suite.

» Le schéma de la figure 30 montre comment sont disposés les interrupteurs (1) et (2)

Cas d'une vanne à papillon.

» Si le déplacement de la vanne, au lieu de se produire dans un plan, s'effectue autour d'un axe dans une conduite cylindrique, le déplacement angulaire est encore proportionnel à la vitesse du moteur et par suite au temps, mais l'ouverture de vanne n'est pas proportionnelle au déplacement angulaire. Pour un angle θ , l'ouverture est $\pi R^2(1 - \cos \theta)$ et la puissance peut être représentée par $M(1 - \cos \theta)$.

» Examinons le cas d'une perturbation se produisant pour une ouverture initiale θ_0 . Si le déplacement angulaire est τt , la puissance au temps t sera

$$M[1 - \cos(\theta_0 \mp \tau t)]$$

et l'équation du mouvement devient

$$(50) \quad \text{Fermeture...} \quad M[1 - \cos(\theta_0 - \tau t)] dt - R\omega dt - I\omega d\omega = 0$$

$$(51) \quad \text{Ouverture...} \quad M[1 - \cos(\theta_0 + \tau t)] dt - R\omega dt - I\omega d\omega = 0$$

» En remplaçant t par λt (λ étant une constante numérique convenable), ces équations se ramènent au type

$$\frac{d\omega}{dt} = 1 - \frac{F(t)}{\omega}.$$

» Or, il est démontré que cette équation n'est pas intégrable. M. Painlevé, membre de l'Institut, a bien voulu nous indiquer un moyen très simple de résolution approximative que nous allons appliquer à l'équation (50).

» Posons

$$(52) \quad \theta_0 - \tau t = \frac{\pi}{2} - \varphi,$$

l'équation (50) devient :

$$(53) \quad \frac{d\omega}{d\varphi} = -\frac{R}{\tau I} \left[1 - \frac{M(1 - \sin \varphi)}{R\omega} \right].$$

» Nous pouvons remplacer cette équation par deux autres, en supposant que φ est compris entre 0 et $\frac{\pi}{4}$ dans la première et entre $\frac{\pi}{4}$ et $\frac{\pi}{2}$ dans la seconde.

» Pour $0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{4}$, nous remplacerons $\sin \varphi$ par $\sigma \varphi$, σ étant un nombre compris entre 1 et 0,9 et que l'on peut prendre égal à 0,93.

» Pour $\frac{\pi}{4} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$, nous substituerons à $\sin \varphi$ la valeur approchée $\sin \frac{3\pi}{8} + \left(\varphi - \frac{3\pi}{8} \right) \cos \frac{3\pi}{8} = 0,473 + 0,383 \varphi$.

» Les deux équations s'écrivent alors :

$$(54) \quad \frac{d\omega}{d\varphi} = -\frac{R}{\tau I} \left[1 - \frac{M(1 - 0,93 \varphi)}{R\omega} \right],$$

$$(55) \quad \frac{d\omega}{d\varphi} = -\frac{R}{\tau I} \left[1 - \frac{M(0,523 - 0,383 \varphi)}{R\omega} \right].$$

» En intégrant et revenant ensuite des valeurs approchées à $\sin \varphi$, on obtient les équations suivantes :

$$(56) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sin \varphi \tau I \omega^2 - \varphi(1 - \sin \varphi) R \omega + \varphi(1 - \sin \varphi)^2 M}{\sin \varphi \tau I \omega_0^2 - \varphi(1 - \sin \varphi_0) R \omega_0 + \varphi(1 - \sin \varphi_0)^2 M} \\ = e^{-\frac{2R}{\sqrt{H}} \arctan \frac{[(1 - \sin \varphi_0) \omega - (1 - \sin \varphi) \omega_0] \sqrt{H}}{2 \tau I \omega_0 \omega - R[(1 - \sin \varphi_0) \omega - (1 - \sin \varphi) \omega_0] + 2(1 - \sin \varphi_0)(1 - \sin \varphi) M}} \end{array} \right.$$

$$(57) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\cos \frac{3\pi}{8} \tau I \omega^2 - (1 - \sin \varphi) R \omega + (1 - \sin \varphi)^2 M}{\cos \frac{3\pi}{8} \tau I \omega_0^2 - (1 - \sin \varphi) R \omega_0 + (1 - \sin \varphi)^2 M} \\ = e^{-\frac{2R}{\sqrt{H}} \arctan \frac{[(1 - \sin \varphi_0) \omega - (1 - \sin \varphi) \omega_0] \sqrt{H}}{2 \tau I \omega_0 \omega - R[(1 - \sin \varphi_0) \omega - (1 - \sin \varphi) \omega_0] + 2(1 - \sin \varphi_0)(1 - \sin \varphi) M}} \end{array} \right.$$

» En remplaçant φ par $\frac{\pi}{2} - \theta_0 + \tau t$ et φ_0 par $\frac{\pi}{2} - \theta_0$ on obtiendrait les équations définitives.

» Il est intéressant de connaître de suite la valeur maximum

de ω . Il suffit pour la déterminer de faire $\frac{d\omega}{dt} = 0$, ce qui revient évidemment à $\frac{d\omega}{d\varphi} = 0$.

» L'équation donne alors

$$(58) \quad M(1 - \sin \varphi) = R\omega.$$

» En portant dans les équations définitives la valeur de $\sin \varphi$ tirée de l'équation (58), on en déduit d'autres équations plus simples, car le numérateur du premier membre se réduit à une expression monome et les termes en $\sin \varphi$ disparaissent.

» L'équation d'ouverture se résout aisément à l'aide d'hypothèses analogues à celles que nous venons de faire, et toutes les considérations précédemment développés pour une vanne à déplacement plan s'appliquent au cas de la vanne mobile autour d'un axe.

CONCLUSIONS.

» Toutes les courbes du présent Mémoire ont été tracées de manière à faire ressortir les diverses circonstances du mouvement et mettre en lumière l'amortissement rapide des oscillations. Pour mieux caractériser ces oscillations, nous avons adopté pour la vitesse de déplacement de la vanne des valeurs qui peuvent être largement dépassées, surtout si l'on emploie les vannages à double fermeture.

» En fait, on peut toujours prendre des dispositions telles que, pour les perturbations les plus exagérées, notre régulateur provoque un retour très rapide à l'équilibre de régime, sans que les variations de vitesse angulaire dépassent jamais les limites compatibles avec la sécurité mécanique ou électrique du matériel.

» On pourrait apprécier aisément la souplesse de l'appareil en établissant en fonction de k et ω les conditions de correction déduites des formules établies plus haut, mais un tel calcul reculerait sans grand profit les limites de notre étude.

» Nous nous bornerons à donner les résultats du calcul pour la rupture brusque du circuit ou la mise en court circuit total d'un groupe électrogène de 1000 chevaux, comportant une turbine et un alternateur accouplés sans intermédiaire élastique.

» En admettant une vitesse de déplacement de 6 cm par seconde, pour une vanne à double fermeture dont la course totale serait de 72 cm, nous sommes arrivé aux conclusions suivantes :

» La vitesse normale étant de 240 tours et la puissance motrice n'étant plus compensée que par les résistances passives et mécaniques électriques et électromagnétiques, la vitesse maximum d'emballlement atteinte au bout de 5 secondes ne dépasse pas

$$293 \text{ tours } \left(\frac{\Omega}{\omega_0} = 1,22 \right).$$

» La fermeture complète de la vanne aurait lieu au bout de 6 secondes et le temps total nécessaire pour le retour à la vitesse de régime ne dépasserait pas 26 secondes et demie.

» En dehors de cette considération si importante de la vitesse de correction, il est utile d'observer que l'appareil imaginé par nous est établi sur un type unique, s'adaptant avec la même facilité à des turbines de toutes puissances.

» La construction étant simplifiée et les pièces détachées pouvant s'exécuter en série, on arrivera évidemment à un prix de revient moins élevé que celui des régulateurs les plus simples basés sur des principes différents et dont les dimensions varient avec la puissance des turbines auxquelles on les destine.

» Nous ne voulons pas terminer cette étude sans adresser à M. Petitalot, notre collaborateur, ancien élève de l'École supérieure d'Électricité, un remerciement bien mérité pour le concours persévérant et dévoué qu'il nous a prêté pour mener à bien la longue étude de notre régulateur. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Gin.

M. BOCHET fait observer que « l'étude théorique du régulateur de M. Gin, basée sur l'hypothèse de variations instantanées de la charge, ne correspond pas, en général, à la réalité.

» Les conclusions de principe énoncées par M. Gin n'en sont pas moins exactes pour tous les régimes de perturbations; mais il y aurait lieu d'examiner l'influence de la vitesse avec laquelle se produisent les variations de charge, sur le mode de réglage de son appareil.

» Si cette vitesse était constante, le régulateur devrait bien cesser d'agir sur la vanne pour une même position de ses masses mobiles ; mais, pour des perturbations de durées variables, il n'en n'est plus de même. »

La séance est levée à 10^h 45^m du soir.



ERRATUM.



Dans le *Bulletin* de janvier 1904, page 6, 4^e ligne, lire :

Ambrières (Georges-Marie-Symphorien-Eugène **Gouin** d'), Ingénieur des Arts et Manufactures, Sous-Ingénieur des *Forges et Chantiers de la Méditerranée*, etc.

**RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR L'ARC A COURANT ALTERNATIF, EXÉCUTÉES
AU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ (¹).**

M. F. LAPORTE. — « Sans vouloir faire aucunement une étude historique de l'arc à courants alternatifs que le simple exposé de ces recherches expérimentales ne comporte pas, il n'est pas possible de parler de cette question sans citer les travaux de M. Blondel,

» De 1891 à 1900 il a publié une série d'articles (²), qui ont précisé, puis fixé les caractères généraux de ce phénomène. Son nom reviendra donc souvent dans le cours de cette étude.

» Les admirables travaux de M^{me} Ayrton sur l'arc à courant continu forment une œuvre si complète et si solide qu'on s'empresse d'y recourir, pour chercher une référence dans un cas analogue et un appui.

» Je suis heureux de signaler à la Société le bienveillant accueil que j'ai reçu des fabricants de charbons, et de remercier la Société française de charbons pour l'électricité, MM. Berne, R. Heller et F. Henrion, qui ont envoyé gracieusement au Laboratoire les charbons qui étaient nécessaires,

» Toutes les expériences de cette étude, qui date de 1902, ont été faites avec la collaboration de M. Sellier, Ingénieur diplômé de l'École supérieure d'Électricité. Il a apporté à ce travail son habileté d'ingénieur praticien et le soin et les précautions éclairées d'un vrai physicien.

PLAN DE L'ÉTUDE.

» L'arc à courants alternatifs est un phénomène complexe qui dépend de facteurs nombreux et très différents. Sans chercher à les énumérer on peut les grouper en trois catégories distinctes :

» 1° *Source d'électricité*. — Je citerai par exemple le système de distribution, la fréquence, la forme de la courbe de la force élec-

(¹) Communication présentée au cours de la séance mensuelle du 6 janvier 1904.

(²) *Lumière électrique*, septembre 1891 et décembre 1893. — *Éclairage électrique*, 1896. — *Electrical World*, février 1897. — *Congrès international d'Électricité* de 1900. *Annexes*, p. 157 et 183.

tromotrice d'alimentation, les constantes du circuit de l'arc, résistance et self-induction, etc.

» 2° *Les charbons.* — La nature des charbons, homogène, à mèche ou à flamme, leur fabrication, composition et cuisson, leur diamètre, etc.

» 3° *Les constantes électriques de l'arc.* — L'intensité du courant, la différence de potentiel, la puissance dépensée, la longueur de l'arc.

» Dans cette série de recherches, on a laissé systématiquement de côté, pour une étude ultérieure, tout ce qui concerne la source d'électricité et en particulier la forme de la courbe du courant et de la tension. Ce travail, qui se poursuit actuellement au Laboratoire au moyen de l'oscillographe de M. Blondel, n'est pas encore terminé.

» Afin de restreindre encore le nombre des variables, on a suivi la marche méthodique qui avait déjà été employée pour l'arc à courant continu et qui a été exposée devant vous par M. Janet au mois de juin 1901.

» L'effet de la variation du régime électrique a été étudié sur une paire de charbons choisis, par modifications de la tension en maintenant l'intensité constante, puis à tension constante et à intensité variable.

» Dans la seconde partie de ce travail quelques charbons de nature, de fabrication et de provenance différentes ont été comparés entre eux pour des régimes électriques déterminés. On s'est limité à des crayons de même diamètre.

INSTALLATION ET MANIÈRE D'OPÉRER.

» Le montage général de l'installation est indiqué dans le schéma ci-contre (*fig. 1*).

» Le secteur de la rive gauche (tension 220 volts, fréquence 42) alimentait, par l'intermédiaire de rhéostats réglables, le primaire d'un transformateur de rapport 2/1.

» Le circuit secondaire comprend l'arc (lampe à main), une bobine de réaction à noyau de tôles, et les appareils de mesure, ampèremètre thermique Hartmann et Braun et bobine fixe d'un wattmètre Siemens à lecture directe. Un voltmètre thermique

Richard donnait à volonté la différence de potentiel aux bornes de l'arc ou du transformateur. Un autre voltmètre indiquait la tension aux bornes de la bobine de réaction. Enfin, le circuit à fil fin du wattmètre était connecté de manière à mesurer la puissance électrique dépensée dans l'arc.

» Les charbons étaient montés dans une lampe à réglage à la main, d'un modèle spécial, qui a été étudié au Laboratoire pour servir dans le lumenmètre de M. Blondel. Le mouvement des porte-

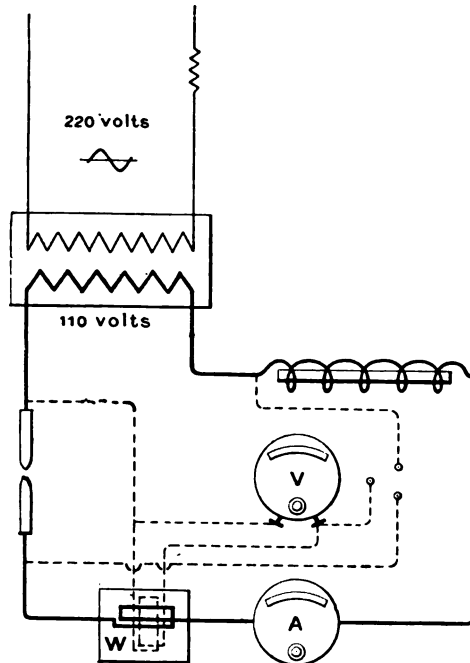


Fig. 1. — Schéma.

charbons est très ralenti par rapport à celui du volant de commande ; cette disposition permet de régler l'écart d'une manière précise et de compenser l'usure par un mouvement presque continu.

» Le lumenmètre de M. Blondel a été décrit plusieurs fois devant vous, et le dispositif employé pour la mesure du flux lumineux est celui qui a été exposé par M. Janet dans la séance citée plus haut. Je ne reviendrai donc pas sur les détails de cette installation.

» Il suffit de dire que le lumenmètre concentre le $\frac{1}{10}$ du flux lumineux produit par l'arc sur un écran plan en opaline dépolie. Au moyen d'un photomètre Lummer et Brodhum, on compare

l'éclairement produit par cette tache lumineuse sur l'écran du photomètre à celui qui est donné par une lampe à incandescence, d'intensité lumineuse connue, servant d'étalon lumineux.

» Les différences de teintes données par l'arc et par la lampe à incandescence rendent les mesures photométriques assez délicates; mais cependant, avec un peu d'habitude, elles peuvent être faites dans des conditions suffisantes d'exactitude. L'écran coloré en vert formé par la cuve de Crova, qui avait servi aux essais précédents, a été supprimé et l'on a préféré faire toutes les mesures avec la lampe étalonnée que passer par l'intermédiaire d'une source de comparaison, cause possible d'incertitude ou d'erreur.

» Avant le commencement de ces essais, le lumenmètre a été taré de la manière qui a été exposée en détail, dans la Conférence citée plus haut. Le procédé est le suivant : On calcule le flux lumineux produit par l'arc dans des conditions électriques connues, en mesurant directement l'intensité lumineuse produite dans les différentes directions et en construisant la courbe de répartition lumineuse. Puis l'arc est rétabli dans le même régime au centre du lumenmètre et l'on obtient, en rapprochant les résultats obtenus, la constante cherchée.

Flux mesuré à l'appareil à miroirs. Courant continu.

Charbons A 13/H 8.

Différence de potentiel moyenne (volts)	42,2	43,6
Intensité moyenne (ampères)	8,05	6,15
Intensité moyenne sphérique (bougies décimales)	419	248
Flux lumineux total (lumens)	5265	3110

Essai au lumenmètre.

Éclairement correspondant au régime ci-dessus (lux)...	11,6	6,7
Constante déduite	454	465

» On a adopté comme constante le chiffre de 460.

» Cette constante ne peut pas être comparée à celle trouvée en 1901, le lumenmètre ayant été déplacé depuis cette époque et l'écran ayant été changé.

» Les résultats que l'on trouvera dans la suite de cette étude concordent assez bien avec les valeurs données dans les travaux précédents.

» Dans son Rapport au Congrès international d'Électricité de 1900 ⁽¹⁾ M. Blondel indique comme valeur du flux spécifique des lampes à courants alternatifs 10 à 13,3 lumens par watt, correction faite de la valeur de l'étalon Hefner dont il s'était servi. Pour une densité de courant analogue on trouvera ci-dessous de 11,5 à 15 suivant les charbons.

» Dans le travail sur l'arc à courant alternatif que MM. Blondel et Jigouzo ont présenté au même Congrès ⁽²⁾ les valeurs du flux lumineux produit par des charbons Hélios sont tout à fait comparables à celles qui ont été obtenues avec des charbons analogues sinon identiques.

» Enfin Wedding a donné ⁽³⁾ une série de courbes de répartition lumineuse qui, autant qu'on peut le constater dans des conditions expérimentales très différentes, fournissent approximativement les mêmes résultats.

» Par contre, les expériences sur l'arc à courant continu qui font l'objet de la Conférence de juin 1901 citée plus haut ⁽⁴⁾ paraissent donner des nombres trop faibles; les flux lumineux et flux spécifiques sont trop petits. Un examen approfondi des conditions expérimentales paraît montrer que la différence provient de l'emploi de la cuve de Crova dans les mesures de 1901.

» Cette cause d'erreur avait été très nettement indiquée et expliquée par M. Blondel dans une Note parue dans le *Bulletin de la Société* ⁽⁵⁾. Quelques expériences faites à cette époque ne permettaient pas d'attribuer une grande influence à l'écran coloré. Mais il importe de remarquer que la comparaison de deux lumières pour une teinte vert jaunâtre a une action qui peut varier beaucoup suivant la couleur de la lumière à mesurer et en particulier qu'elle s'accroît notablement lorsque la différence de potentiel à l'arc augmente, c'est-à-dire lorsque la teinte de la lumière de l'arc s'approche du violet.

⁽¹⁾ *Les progrès des lampes électriques*, p. 232 (*Rapport au Congrès international d'Électricité de 1900*).

⁽²⁾ *Ibid.*, *Annexe*, p. 157.

⁽³⁾ *E. T. Z.*, 1897, p. 716.

⁽⁴⁾ *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, 2^e série, t. I, 1901, p. 251.

⁽⁵⁾ *Ibid.*, 2^e série, t. I, 1901, p. 565.

» Je tiens donc à signaler cette cause d'erreur qui empêche de comparer les résultats donnés en courant continu et alternatif.

MARCHE D'UNE EXPÉRIENCE.

» Voici maintenant quelques détails sur les expériences elles-mêmes :

» L'arc était allumé et amené au régime voulu sans toucher au circuit secondaire du transformateur, qui est resté identique pour toutes les expériences. Le réglage était obtenu par modifications successives de l'écart des charbons et de la résistance comprise dans le circuit primaire du transformateur. Le régime était maintenu en compensant l'usure des charbons par un mouvement aussi uniforme que possible du volant de la lampe à main.

» Avant de commencer les mesures, on attendait que l'arc ait pris son régime, car il a été reconnu bien souvent qu'un certain temps est nécessaire pour que l'équilibre des températures soit atteint et que les charbons aient pris leur forme définitive. On faisait ensuite la série des mesures suivantes :

» 1° La moyenne de 10 lectures photométriques permettait de calculer, au moyen de la constante du lumenmètre, la valeur du flux lumineux ;

» 2° Les lectures à l'ampèremètre, au voltmètre et au wattmètre donnaient l'intensité, la tension et la puissance dépensée ;

» 3° Une lentille projetait sur un écran une image agrandie de l'arc ; on mesurait l'écart et l'on traçait la forme des charbons et de l'arc ;

» 4° Le nombre de tours de l'arbre principal de la lampe, compté pendant un certain temps, donnait l'usure totale en longueur des deux charbons, sans distinguer la part de chacun d'eux, un tour de l'arbre correspondant à 0,2 mm ;

» 5° Enfin, on notait la différence de potentiel aux bornes du secondaire du transformateur et aux bornes de la bobine de self-induction, indications intéressantes pour déterminer le régime électrique de l'arc.

» Toutes les mesures photométriques sont exprimées en flux lumineux, en lumens. Je rappelle, en vue de faciliter les comparaisons, que

Flux lumineux (lumens) = 4π . Intensité moyenne sphérique (bougies décimales).

» On trouvera également ci-dessous un Tableau de concordance des dépenses spécifiques.

Tableau de concordance.

Intensité lumineuse moyenne sphérique puissance en bougies décimales par watt.	Flux lumineux puissance en lumens par watt.	Puissance	
		Intensité lumineuse moyenne sphérique en watts par bougie décimale.	Puissance Flux lumineux en watts par lumen.
2	25,12	0,5	0,0398
1	12,56	1	0,0796
0,666	8,34	1,5	0,119
0,5	6,28	2	0,159
0,4	5,02	2,5	0,199
0,333	4,18	3	0,238
0,285	3,59	3,5	0,278
0,25	3,14	4	0,318

» Au moyen des données précédentes relevées directement on a pu calculer d'autres constantes intéressantes :

» 1° Le flux puissancique ⁽¹⁾; rapport du flux lumineux produit à la puissance électrique dépensée qui permet d'apprécier l'utilisation de l'énergie dans l'arc;

» 2° Le rapport de la quantité de lumière produite pendant un certain temps à l'usure correspondante qui peut caractériser l'utilisation des charbons;

» 3° Le rapport de la puissance dépensée dans l'arc au produit de l'intensité efficace par la tension efficace aux bornes de l'arc. C'est-à-dire le facteur de puissance de l'arc.

» Il est bon de rappeler à ce propos que ce facteur de puissance qui est parfois très notablement inférieur à l'unité n'a rien de commun avec le cosinus d'un angle de décalage entre l'onde de la tension et celle du courant. Le fait a été signalé bien souvent. Quand on relève en effet, au moyen de l'ondographe ou de l'oscillographe, les courbes de variation pendant une période de l'intensité du courant et de la différence de potentiel à l'arc, on obtient deux courbes périodiques irrégulières très différentes de la sinusoïde, mais qui passent par 0 au même point de l'axe. Le phénomène de l'arc ne produit donc pas de décalage entre l'intensité et la tension.

⁽¹⁾ Nous avons adopté dans cette étude l'expression de *flux puissancique* au lieu de *flux spécifique* sur le désir de M. Hospitalier, président de la Société.

» La différence entre la puissance dépensée dans l'arc donnée par le wattmètre et le produit des indications du voltmètre et de l'ampèremètre thermique provient de la forme des courbes qui s'écartent beaucoup de la sinusoïde.

» Ce terme de correction, qui a reçu le nom de facteur de puissance, pourrait être calculé théoriquement d'après les courbes relevées (¹).

» Nous verrons que dans l'arc il peut prendre une importance notable et qu'il descend dans certains cas de la pratique jusqu'à 0,7.

PREMIÈRE PARTIE.

ÉTUDE DES CHARBONS MARQUE A A13/H12.

» On a choisi pour l'étude des variations du régime électrique de l'arc une qualité de charbons que nous désignerons par la marque A.

(¹) On peut en particulier calculer très simplement le facteur de puissance dans un cas qui se rapproche de celui de l'arc près du point de sifflement.

Supposons une courbe de différence de potentiel de forme rectangulaire passant brusquement de la valeur U_m à $-U_m$, on a

$$u = \pm U_m \quad \text{et} \quad U = U_m.$$

Si la courbe du courant est une sinusoïde

$$i = I_m \sin \omega t \quad \text{et} \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

La puissance apparente

$$UI = U_m \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

La puissance vraie est donnée par

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u I_m \sin \omega t \, dt,$$

u étant constant, égal à U_m et changeant de signe en même temps que $\sin \omega t$

$$P = 2 \times \frac{U_m}{T} I_m \int_0^{\frac{T}{2}} \sin \omega t \, dt \quad \text{ou} \quad P = 2 \times \frac{U_m}{T} I_m \times \frac{T}{\pi} = \frac{2}{\pi} U_m I_m,$$

et la valeur du facteur de puissance est

$$\frac{P}{UI} = \frac{\frac{2}{\pi} U_m I_m}{\frac{U_m I_m}{\sqrt{2}}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0,90.$$

Le charbon supérieur à mèche était du diamètre de 13 mm, le charbon inférieur homogène de 12 mm (1).

» Les travaux de M. Blondel ont montré en effet qu'un charbon à mèche associé à un charbon homogène donnait en courants alternatifs des résultats plus avantageux que deux charbons à mèche. Il a été constaté également au cours de cette étude que le fonctionnement de l'arc dans ces conditions était plus régulier et paraissait moins sensible aux défauts d'homogénéité des charbons.

	Charbon supérieur.	Charbon inférieur.
Nature du charbon.....	Mèche de 3 mm environ	Homogène
Diamètre en centimètres.....	1,3	1,2
Poids linéaire en grammes par cm.....	1,86	1,53
Poids spécifique apparent.....	1,4	1,35
Résistance linéaire, ohm par centimètre.	0,0056	0,0062
Résistivité, microhms-centimètre.....	7520	7050

» Les nombres précédents sont les moyennes de mesures faites sur des crayons du même lot. Les différences maxima trouvées avec les moyennes ont été :

	Charbon à mèche.	Homogène.
Sur les poids.....	6 pour 100	3 pour 100
Sur les résistances.....	8 à 10 pour 100	6 pour 100

» Comme il a été dit plus haut, l'arc était alimenté par le courant fourni par le Secteur de la rive gauche par l'intermédiaire d'un transformateur; le circuit secondaire du transformateur, qui ne comprenait que l'arc et la bobine de réaction, est resté identique pendant tous les essais.

» Les résultats qui vont suivre sont tous rapportés à la tension et à l'intensité du courant, ces données permettent de caractériser un arc et de reproduire facilement le régime.

» L'arc a été étudié en maintenant l'intensité du courant constante pour différentes valeurs de la tension. On a choisi 5 valeurs de l'intensité : 6, 9.4, 12.7, 15.5 et 18.4 ampères; pour chacune de ces valeurs on a fait varier la tension dans les limites les plus étendues possibles, en général de 27 à 46.5 volts.

(1) Pour simplifier l'écriture nous désignerons cette paire de charbons par le symbole (A13/H12).

» Les résultats ainsi obtenus dans cette étude ont été vérifiés en laissant, au contraire, la tension constante, et en faisant varier l'intensité du courant.

» Il est bon d'attirer l'attention sur cette vérification qui était nécessaire pour l'interprétation des diverses expériences.

» Les mesures sur l'arc à courants alternatifs, malgré tout le soin apporté à leur exécution, donnent lieu à des anomalies, à des variations inattendues bien supérieures à celles que l'on serait en droit de craindre des erreurs probables des expériences; elles semblent plus nombreuses et plus graves que celles que l'on rencontre dans une étude analogue sur l'arc à courant continu. Il est difficile d'analyser les causes de ces irrégularités; mais cependant il en est une fort importante: c'est celle qui est introduite par le défaut d'homogénéité des charbons.

» En général, les résultats obtenus avec une même paire de charbons sont assez concordants, et les points représentatifs des mesures se placent assez bien sur une courbe. Mais avec d'autres crayons, les résultats pour le même essai sont parfois notablement différents. Il était donc important, après avoir étudié les 5 intensités constantes signalées plus haut, chacune avec une paire de charbons différente, de vérifier quelques points de chacune de ces courbes par des mesures à tension constante faites avec les mêmes charbons.

» Les expériences ont, d'ailleurs, été presque toutes reproduites à plusieurs reprises, et les valeurs indiquées dans les Tableaux sont des résultats moyens.

» Avec deux charbons à mèche, les irrégularités sont plus graves. Elles peuvent agir très notablement sur les résultats obtenus avec la même paire de charbons, L'expérience suivante le montre nettement.

» Le régime électrique de l'arc a été maintenu constant à 35 volts, 12,8 ampères et l'on a fait pendant près d'une heure des lectures photométriques toutes les minutes, l'écart des charbons était mesuré périodiquement toutes les deux minutes. Les résultats ont été reportés sur le graphique ci-contre (*fig 2*). Après une heure de marche dans ces conditions, le régime a été modifié, puis maintenu constant à 31 volts et 12,8 ampères. Le même essai a égale-

ment été reproduit à 28 volts et 12,8 ampères. On voit qu'en dehors des irrégularités causées par les erreurs d'expériences, ou peut-être par les défauts passagers des charbons, des variations lentes se produisent qui peuvent atteindre 30 pour 100 de la valeur du flux lumineux. Pendant tout ce temps, la constance du régime électrique était bonne, la taille des crayons restait symétrique, mais la longueur de l'arc variait en sens inverse du flux lumineux.

» Comme la puissance dépensée dans l'arc restait constante, l'augmentation de l'écart ne peut s'expliquer que par une variation dans la conductibilité de l'arc.

» Un essai analogue sur une autre paire de charbons a donné

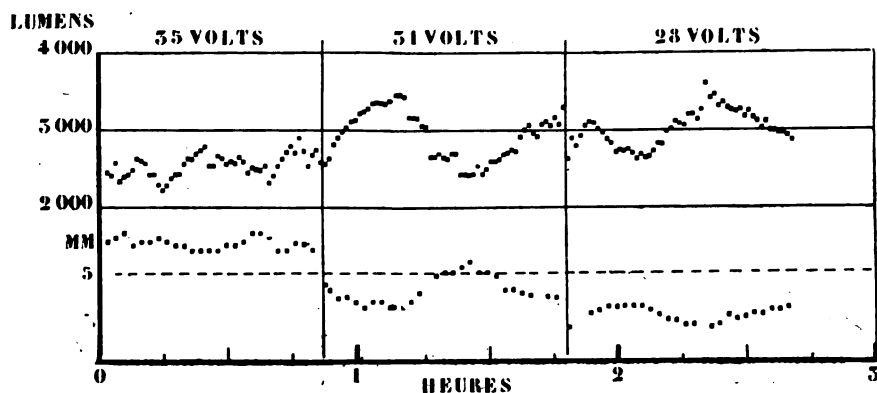


Fig. 2. — Flux lumineux et écart en fonction du temps.

des variations encore plus grandes, atteignant jusqu'à 50 pour 100 du flux lumineux.

» Sans chercher à élucider ces résultats ni à étudier la cause de leur apparente périodicité, il était intéressant de signaler les très importantes variations que l'on peut rencontrer dans l'étude du régime de l'arc et la difficulté d'obtenir des résultats concordants principalement avec deux charbons à mèche.

A. — ÉTUDE A INTENSITÉ CONSTANTE.

» Les expériences ont été faites en général en faisant croître la tension depuis la valeur minima jusqu'au maximum. Avant de faire les mesures on a attendu de 10 à 15 minutes que l'arc ait pris son régime. Il faut en effet que les charbons puissent avoir le temps de

prendre leur forme et que l'équilibre de température soit atteint.

» Il est bien connu qu'au moment de l'allumage l'écart d'un arc est beaucoup plus grand qu'en régime permanent; le flux lumineux est au contraire inférieur à sa valeur normale. L'effet inverse peut se produire si, après avoir fait fonctionner un arc à une tension élevée, on le ramène à une tension inférieure.

» Les charbons essayés donnent un arc sifflant jusqu'à 30 volts environ. Ce phénomène a été étudié dans tous ses détails pour l'arc à courant continu par M^{me} Ayrton. Au cours de ces expériences on a pu constater souvent certaines de ses observations. Je signalerai en particulier celle bien connue de la chute brusque de tension et de puissance au moment où le sifflement commence quand l'arc se trouve dans la zone instable pour laquelle les régimes bruyant et silencieux peuvent se succéder.

1^o *Flux lumineux.*

» A 25 volts avec les charbons essayés, la longueur de l'arc est très petite, l'arc est sifflant et il se produit un champignon de forme irrégulière sur les deux charbons. Le flux lumineux est faible (*fig. 3*).

» A mesure que la tension croît, le flux lumineux croît aussi et très rapidement. Une des sources principales de lumière étant formée par les cratères, il est fort naturel que, l'écart augmentant, le flux lumineux augmente aussi, puisque le rayonnement du cratère peut se faire par une zone de plus en plus importante. Le flux lumineux passe par un maximum pour une tension voisine de 33 volts. L'arc avait cessé de siffler pour la tension de 30 volts environ.

» Quand la différence de potentiel augmente encore, le flux lumineux tend à baisser et à 46 volts il est notablement plus faible qu'à 33 volts. La forme générale de cette variation est analogue à celle qui avait été trouvée pour les arcs à courants continus, mais la tension du maximum est plus basse et la diminution du flux pour les différences de potentiel fortes est plus accentuée.

» L'allure de ces courbes est tout à fait semblable à celles qui ont été publiées par M. Blondel. Elle se reproduit pour les différentes intensités étudiées, le flux lumineux augmentant beaucoup avec la densité du courant, comme cela a toujours été constaté.

» Le maximum du flux lumineux paraît avoir lieu pour des tensions de plus en plus fortes à mesure que l'intensité est plus élevée, mais cette différence est assez faible.

» Il paraît inutile de donner les résultats des différentes expé-

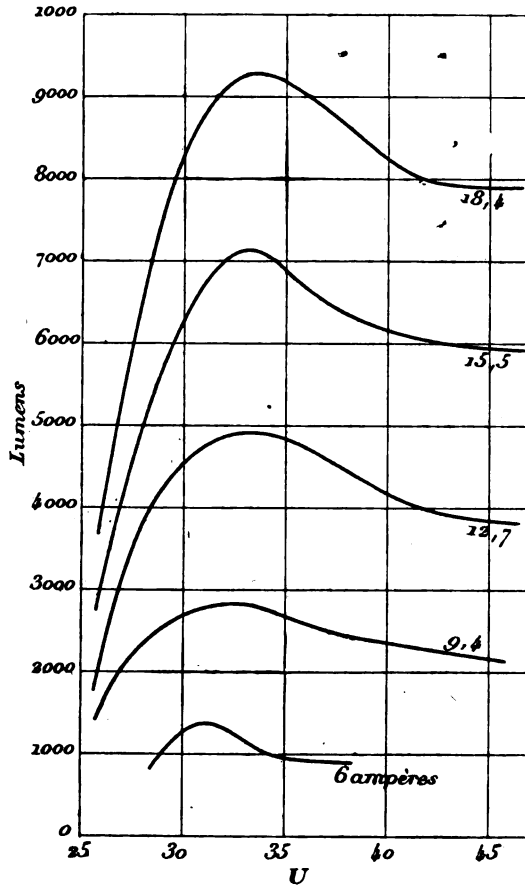


Fig. 3. — Flux lumineux. Intensité constante.

riences. On a porté dans les Tableaux suivants les moyennes qui ont servi à tracer les courbes ci-contre.

2° Puissance dépensée dans l'arc. Facteur de puissance.

» La puissance dépensée dans l'arc n'est pas proportionnelle à la tension, ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut. L'étude du rapport $\frac{\text{Puissance réelle}}{\text{Puissance apparente}}$, c'est-à-dire du facteur de puissance, semble plus commode et plus instructive pour les comparaisons.

» Le facteur de puissance de l'arc est très notablement inférieur à l'unité pour les tensions en dessous de 30 volts et qui correspondent à l'arc sifflant, valeur qui peut descendre en dessous de 0,90. Le facteur de puissance augmente avec la tension et atteint une valeur comprise entre 0,93 et 0,97 au moment où l'arc ne siffle

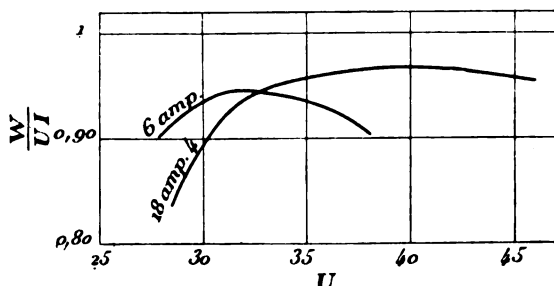


Fig. 4. — Facteur de puissance. Intensité constante.

plus. Il reste ensuite à peu près constant et montre seulement une légère tendance à redescendre pour les tensions supérieures à 40 volts.

» La variation reste semblable pour les différentes intensités. Cependant, bien que les résultats ne soient pas assez comparables pour permettre d'en déduire une conclusion nette, il semble que les courbes sont légèrement décalées les unes par rapport aux autres. Les deux courbes de 6 et de 18,4 ampères ont été tracées comme indication (*fig. 4*).

3° Flux puissancique.

» On trouvera également ci-contre les courbes qui en indiquent les variations avec la tension (*fig. 5*).

» L'allure de la courbe est toujours la même comme forme générale, mais l'accroissement est très rapide au début, le maximum a lieu pour une valeur de la tension comprise entre 30 et 32 volts et la diminution pour les tensions de 40 à 46 volts est nettement prononcée. La valeur atteinte vers 45 volts n'est que la moitié de la valeur maxima.

» La forme de la courbe est très pointue, la courbe du flux lumineux en fonction de volts l'est déjà, mais la diminution est renforcée par l'augmentation de la puissance à mesure que la tension croît.

Il est vrai que la variation du facteur de puissance tend à diminuer un peu cette action, mais, cependant, comme on vient de le voir, il est extrêmement important pour le rendement lumineux de faire

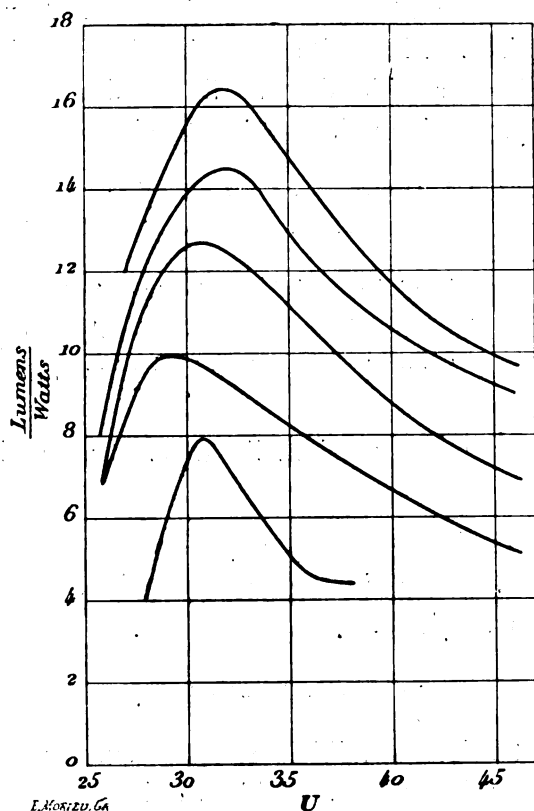


Fig. 5. — Flux puissance. Intensité constante.

jaillir l'arc dans un intervalle de tension très restreint et bien en rapport avec les charbons employés.

4° Écart.

» Il est impossible de mesurer l'écart pour les tensions un peu basses; on sait, en effet, qu'il se forme à l'extrémité des charbons des champignons très irréguliers et l'on ne peut déduire de la projection de l'arc la distance entre les deux crayons. Au contraire, dès que la taille devient régulière et symétrique, l'écart peut être observé, l'extrémité des charbons étant plane ou convexe et non concave comme le cratère positif de l'arc à courant continu.

» Les mesures des écarts, comme je le signalais en commençant,

mettent en évidence d'une façon très notable les variations des différentes paires de charbon qui ont servi aux essais.

» Ce que l'on peut constater, c'est :

» 1° Que pour une intensité donnée, l'écart croît avec la tension aux bornes de l'arc. Si l'on fait abstraction des expériences sur les arcs sifflants, l'écart semble, dans les limites des expériences de 31 à 46,5, varier proportionnellement à la tension :

Pour 9,4 ampères..... $l = 0,525 (U - 29,5)$

— 15,5 ampères..... $l = 0,565 (U - 26,5)$

» Comme les courbes à intensité constante ont été tracées chacune avec une paire de charbons, les points représentatifs se placent assez régulièrement, sauf les variations signalées plus haut sur la valeur de l'écart à chaque régime;

» 2° Pour une même tension, l'écart croît avec l'intensité du courant.

» On ne peut simplement que constater ce sens de variation déjà bien connu, car les différences d'une paire à l'autre masquent entièrement les résultats.

5° *Forme des charbons.*

» Quand la tension est faible il se forme sur les deux charbons des champignons de forme irrégulière, qui sont portés à l'incandescence et qui paraissent, en projection, réunir les deux crayons de charbon par une sorte de cylindre incandescent, un examen plus attentif montre que ce cylindre est coupé suivant une surface gauche et irrégulière (*fig. 6*).

» La forme des charbons devient normale pour une tension voisine de 33 volts. L'extrémité des deux crayons est alors tronconique les deux sections des cônes perpendiculaires à l'axe des charbons et parallèles.

» L'arc n'occupe qu'une portion de la section des charbons qui se trouvent en regard; il se déplace de manière à parcourir toute la section.

» Lorsque la tension croît encore, la base du tronc de cône, marquée par la ligne des bulles ou des cendres, recule, les arêtes s'arondissent et l'extrémité du charbon prend une forme ogivale. La

mèche du charbon supérieur se trouve toujours légèrement creusée

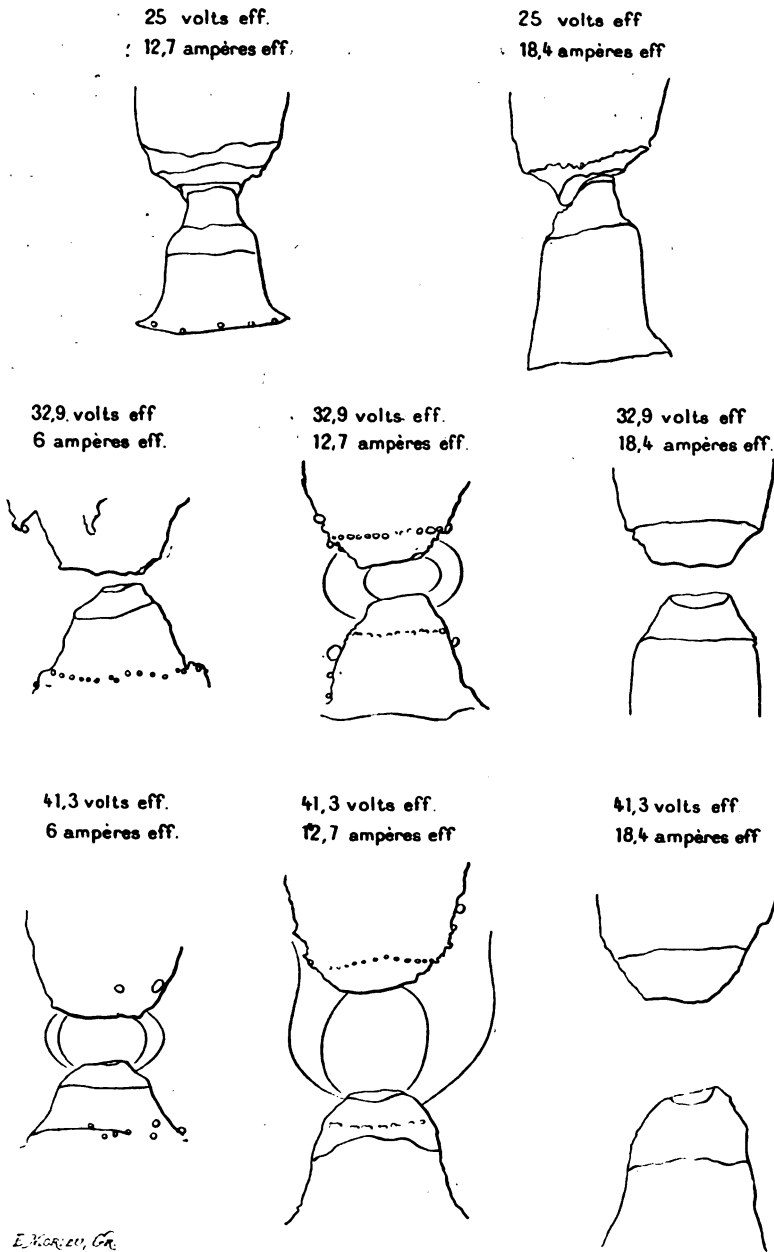


Fig. 6. — Forme des charbons.

par rapport à la surface voisine.

6° Dimensions de l'arc.

» On peut, sur la projection de l'arc, tracer assez exactement le

profil des charbons et le contour de la petite flamme violette qui réunit les deux crayons et qui constitue l'arc lui-même.

» Il a paru intéressant de chercher, sur quelques-uns des tracés, les dimensions du conducteur gazeux ainsi défini. On a pris, comme l'avait fait M^{me} Ayrton pour l'arc à courant continu, la moyenne des largeurs de l'arc comme diamètre moyen pour calculer la section, la longueur est donnée par l'écart des charbons.

» Je signale, sans y attacher grande importance, la relation suivante, qui n'est peut-être qu'une coïncidence fortuite.

» On a calculé, pour l'intensité constante de 12,7 ampères, le rapport $\frac{\text{Longueur de l'arc}}{\text{Section moyenne}}$ pour les différentes valeurs de la tension. Ce rapport est un nombre proportionnel à la résistance de l'arc calculée comme celle d'un conducteur.

Ce rapport semble proportionnel à la tension et la droite obtenue

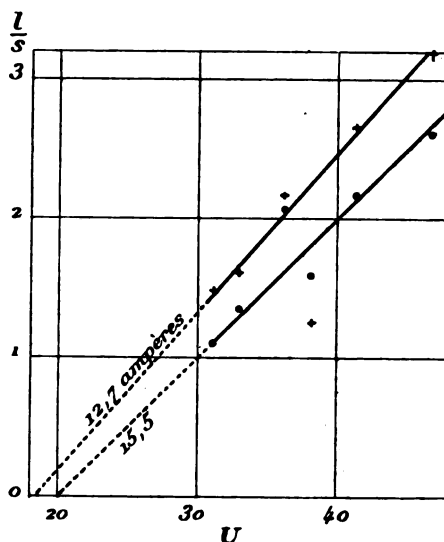


Fig. 7. — Dimensions de l'arc.

(fig. 7) aurait comme équation représentative

$$K \times \frac{l}{s} = U - U_1.$$

» On peut remplacer la constante K en mettant en évidence l'intensité du courant, qui reste constante, et écrire $K = I\rho$.

$$I\rho \frac{l}{s} = U - U_1.$$

On voit donc que tout se passe comme si la résistivité de l'arc restait constante pendant la série d'expériences : $\rho \frac{l}{S}$ représente la résistance du conducteur gazeux, $I \times \rho \frac{l}{S}$ serait la chute du potentiel due au conducteur gazeux et le terme constant U_1 donnerait la chute de tension correspondant au double passage du courant des crayons au conducteur gazeux.

» On a trouvé les valeurs suivantes (TABLEAU VI) :

Pour	$I = 12,7$	$\rho = 0,68$ ohm centimètre	$U_1 = 18,5$
—	$I = 15,5$	$\rho = 0,64$ ohm centimètre	$U_1 = 20$

TABLEAU I. — *Charbons marque A (A13/H12).*

Intensité constante : 6 ampères.

Différence de potentiel en volts.	Puissance en watts.	Facteur de puissance.	Flux		Usure horaire en cm.	Écart en mm.
			lumineux en lumens.	puissancique en lumens/watts.		
27,9	150	0,90	600	4	»	1,5
30,9	175	0,945	1390	7,95	»	1,5
32,9	185	0,94	980	5,3	»	»
36	200	0,93	920	4,6	»	2,4
38,1	205	0,90	910	4,4	»	3,7

TABLEAU II.

Intensité constante : 9,4 ampères.

Différence de potentiel en volts.	Puissance en watts.	Facteur de puissance.	Flux		Usure horaire en cm.	Écart en mm.
			lumineux en lumens.	puissancique en lumens/watts.		
25,7	205	0,85	1380	6,7	»	»
27,9	240	0,915	2310	9,6	»	»
30,9	280	0,965	2700	9,65	»	»
32,9	310?	?	2760	8,9	»	»
36	325	0,96	2470	7,6	»	»
38,1	340	0,95	2460	7,2	»	»
41,3	362	0,935	2310	6,4	»	»
43,2	385	0,95	2190	5,7	»	»
46,5	405	0,93	2080	5,15	»	»

TABLEAU III.

Intensité constante : 12,7 ampères.

Différence de potentiel en volts.	Puissance en watts.	Facteur de puissance.	Flux		Usure horaire en cm.	Écart en mm.
			lumineux en lumens.	puissancique en lumens/watts.		
25,7	270	0,83	1790	6,65	3,0	0,7
27,9	330	0,93	3700	11,2	2,7	0,9
30,9	370	0,94	4640	12,5	3,6	1,9
32,9	405	0,97	4900	12,1	4,2	2,7
36	430	0,94	4750	11,0	5,1	3,5
38,1	460	0,95	4450	9,7	»	»
41,3	500	0,95	3850	7,7	6,0	7,6
46,5	540	0,91	3760	6,95	»	10,2

TABLEAU IV.

Intensité constante : 15,5 ampères.

Différence de potentiel en volts.	Puissance en watts.	Facteur de puissance.	Flux		Usure horaire en cm.	Écart en mm.
			lumineux en lumens.	puissancique en lumens/watts.		
25,7	345	0,86	2740	7,95	»	»
27,9	370	0,86	4620	12,5	3,3	»
30,9	460	0,96	6180	13,4	4,5	2,3
32,9	495	0,97	7000	14,1	5,7	3,3
36	540	0,97	6650	12,3	7,2	5,2
38,1	560	0,95	6320	11,3	»	5,3
41,3	600	0,94	6110	10,2	»	8,5
46,5	660	0,915	5620	8,5	»	11

TABLEAU V.

Intensité constante : 18,4 ampères.

Différence de potentiel en volts.	Puissance en watts.	Facteur de puissance.	Flux		Usure horaire en cm.	Écart en mm.
			lumineux en lumens.	puissancique en lumens/watts.		
26,9	415	0,84	5000	12	»	»
29,8	450	0,82	6400	14,2	»	1,2
32,4	560	0,94	9180	16,4	»	1,8
35	615	0,955	9120	14,8	»	3
38,8	695	0,97	8550	12,3	»	5,2
42,6	750	0,955	7900	10,5	»	7,5
46,5	820	0,96	8000	9,75	»	»

TABLEAU VI.

Dimensions de l'arc. Intensité constante.

Tension en volts.	12,7 ampères.			15,5 ampères.		
	Écart en mm.	Diamètre moyen en mm.	Écart Section	Écart en mm.	Diamètre moyen en mm.	Écart Section
30,9	2	4,2	1,45	2,3	5,2	1,08
32,9	2,6	4,6	1,63	3,3	5,6	1,34
36	4,1	4,9	2,17	5,2	5,7	2,04
38,1	5	7,1	1,26	5,3	6,5	1,60
41,3	7,5	6	2,65	8,5	7,1	2,15
46,5	10,6	6,5	3,2	11	7,3	2,63

B. — ÉTUDE A TENSION CONSTANTE.

» On a choisi les tensions de 28, 33 et 41 volts et les limites de la variation de l'intensité ont été 6 et 18 ampères.

» Ces expériences ont été faites, comme il a été dit plus haut, pour vérifier les résultats précédents; il paraît donc inutile de reprendre successivement les différents facteurs étudiés.

» Je me bornerai à signaler le flux lumineux à tension constante qui croît avec l'intensité du courant et jusqu'à 18 ampères son augmentation suit une loi plus rapide que celle de la proportionnalité avec le courant.

» La courbe se trouve être concave du côté de l'axe des flux. Cependant, dans le voisinage de 18 ampères, quelques expériences montrent que la courbure a une certaine tendance à s'inverser.

RÉSUMÉ.

» Il faudrait maintenant examiner avant de résumer les résultats si les variations du régime électrique de l'arc n'ont pas réagi sur les conditions dans lesquelles il a été alimenté par la source d'électricité.

» La forme de l'onde du courant et de la différence de potentiel aux bornes de l'arc n'ayant pas été étudiée lors de ces expériences, on peut dire seulement que le circuit est resté le même et a été alimenté dans des conditions identiques par le Secteur de la rive gauche.

» En appliquant la formule

$$U = I\sqrt{R^2 + L^2\omega^2},$$

la **résistance** ohmique R de la bobine n'étant que 0,02 ohm, il est inutile de tenir compte de ce terme; on calculera le coefficient L pour les **différentes** expériences faites à intensité constante :

Pour	6 ampères	on trouve	$L = 0,0057$ henry
—	9,4	—	0,0050
—	12,7	—	0,0050
—	15,5	—	0,0053
—	18,4	—	0,0050

» On peut signaler que, pour la même intensité du courant, la tension aux bornes de la bobine est un peu plus forte pendant le sifflement de l'arc que pendant le régime silencieux; l'augmentation est de 6 pour 100 environ. On trouve, en effet, 0,0056 au lieu de 0,0053 à 15,5 ampères et 0,0053 au lieu de 0,0050 pour 18,4 ampères.

» Le coefficient de self-induction de la bobine peut donc être considéré comme constant pendant les expériences.

» *Représentation graphique.* — En vue de résumer les résultats obtenus et de faciliter autant que possible les recherches pour les régimes intermédiaires, il a été tracé sur la figure ci-contre les courbes d'égal flux lumineux pour toutes les valeurs des régimes comprises dans les limites indiquées plus haut, c'est-à-dire entre 6 et 18,4 ampères pour l'intensité et entre 6 et 46,5 volts pour la tension (*fig. 8*).

» Des courbes analogues ont été données en 1901 pour l'arc à courant continu.

» Je rappelle brièvement la manière dont elles ont été construites.

» Un régime de l'arc est défini par la tension et l'intensité du courant et peut être représenté par un point du plan en portant sur deux axes rectangulaires des longueurs respectivement proportionnelles à la tension et à l'intensité. Si l'on élève une perpendiculaire au plan passant par ce point d'une longueur proportionnelle au flux lumineux et si l'on répète ce travail pour les différents régimes étudiés, tous les points ainsi construits seront compris dans une surface représentant la loi générale de variation du phénomène.

» Nous connaissons **cette surface** par les courbes données plus haut de la **variation du flux** à intensité constante. Ce sont les sections **par des plans perpendiculaires** à l'axe des intensités. On peut aussi la définir en traçant les lignes d'égal flux lumineux, sections **par des plans parallèles** au plan des axes qui donnent les courbes

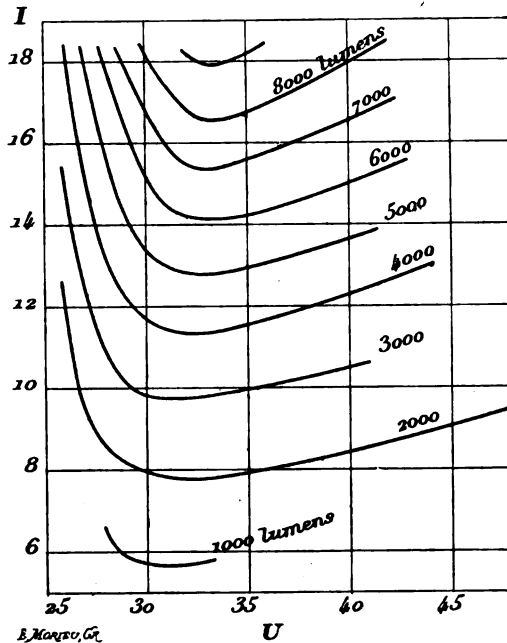


Fig. 8. — Courbes d'égal flux lumineux.

de la figure 8, analogues aux courbes de niveau d'un plan topographique.

» Cette représentation permet, avec un peu d'attention, de suivre facilement la variation générale du phénomène et de trouver le flux lumineux correspondant à un régime électrique quelconque.

» On a tracé les lignes de 1000 en 1000 lumens; il est facile d'interpoler entre elles.

» Ces courbes, qui résument la première partie de ces recherches, n'ont qu'un emploi très restreint. Non seulement elles ne s'appliquent qu'au charbon essayé, mais il est probable qu'elles devraient subir des modifications importantes pour une autre source de courants alternatifs ou pour d'autres conditions de réactance dans le circuit de l'arc.

SECONDE PARTIE.

ÉTUDE COMPARATIVE DE CHARBONS DIFFÉRENTS.

1° COMPARAISON DE CHARBONS DE MARQUE A.

» On a commencé tout d'abord par comparer pour les charbons de la qualité A les trois groupements possibles : charbon à mèche et charbon homogène, deux charbons à mèche ou deux charbons homogènes. Ils étaient choisis pour ces trois essais dans le même lot de fabrication.

» Les essais ont été faits avec une intensité de courant constante

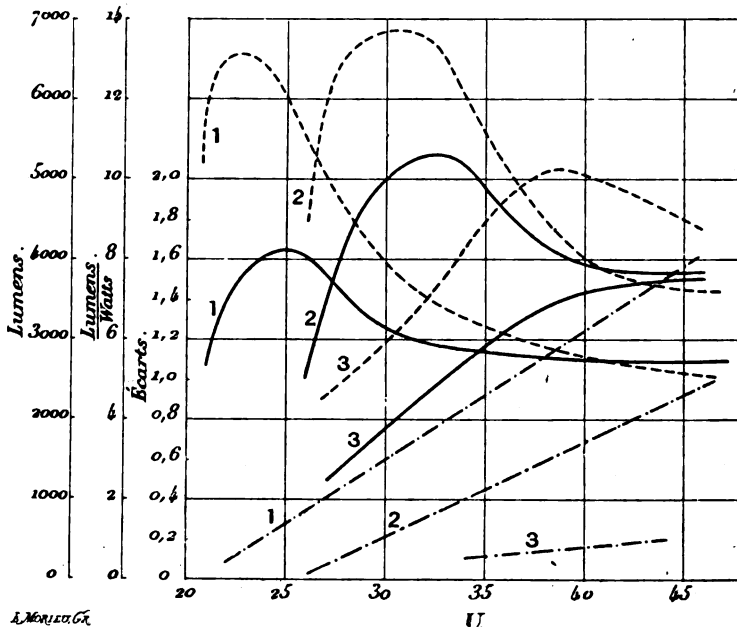


Fig. 9. — Courbes 1, charbons A13/A13..... Flux lumineux.
— 2, — A13/H12 Flux puissance.
— 3, — H12/H12..... Écart.

de 12,7 ampères pour un charbon à mèche de 13 mm, ce qui correspond à une densité de courant de 9,5 ampères environ par centimètre carré. On a fait varier la tension de manière à pouvoir établir la comparaison sur le régime le plus favorable à chaque groupement.

» Les courbes de flux lumineux montrent nettement par leur allure l'influence de la nature des charbons (fig. 9). Avec les deux charbons

homogènes la taille des crayons est très irrégulière et l'arc n'était pas encore silencieux à la tension maxima à laquelle l'expérience a été arrêtée.

» Les maxima de flux lumineux pour les autres courbes ont lieu respectivement à 25 et à 33 volts.

» *Écart.* — Il est à remarquer dans ces expériences que l'écart qui correspond au flux maximum est compris entre 2,5 mm et entre 3 mm.

» Les flux puissanciques maxima atteignent à peu près la même valeur, mais pour des tensions respectives de 23 et de 31 volts.

» Une autre série d'expériences analogues exécutées avec des charbons de la marque E A 14/H 13 a donné lieu aux résultats suivants :

» Avec deux charbons à mèche le flux maximum est de 3000 lumens environ pour 28 volts; avec un charbon à mèche et un homogène 5000 lumens pour 37 volts.

» C'est au cours de ces essais que l'on a constaté les grandes variations des résultats fournis par l'arc entre deux charbons à mèche.

» Il est d'ailleurs à remarquer que les fabricants de charbons proportionnent la quantité de matière minérale contenue dans la mèche à la manière dont les crayons doivent être employés, afin qu'ils puissent donner de bons résultats avec les lampes qui règlent d'ordinaire entre 30 et 35 volts.

» On trouvera, dans les expériences ci-après, les résultats obtenus avec deux catégories de charbons E et F provenant de la même maison et vendus suivant la même désignation. Le charbon E a dû être fabriqué pour être associé à un charbon homogène, tandis que l'arc doit être allumé entre deux charbons F à mèche. Un crayon à mèche de chacune de ces marques avec un charbon homogène donne des résultats très différents.

» En se reportant aux courbes données ci-dessous, on trouvera, en effet,

Charbon E...	flux puissancique maximum 12,8	à la tension de 32,5 volts
— F...	— 15 env.	— 36,5 —

» Il semble donc qu'on arriverait à améliorer le rendement lumi-

neux de l'arc à courant alternatif en employant des charbons un peu moins minéralisés et nécessitant l'emploi d'une tension supérieure à celle qui est actuellement en usage.

2° COMPARAISON DE CHARBON DE PROVENANCE DIFFÉRENTE.

» La comparaison a porté sur les catégories de charbons suivantes :

Charbons A et B.....	du même fabricant
Charbon C.....	—
Charbons E, F, G	du même fabricant
Charbon H.....	charbon à flamme (1902)

» Pour faire les comparaisons, on a choisi le procédé qui consiste à maintenir l'intensité constante et à faire varier la tension aux bornes de l'arc; c'est en effet celui qui permet d'élucider le mieux les propriétés du charbon et de reconnaître le régime le plus favorable pour chacun d'eux.

» L'intensité qui a été maintenue constante est celle de 12,7 ampères correspondant à une densité de courant de 9,5 ampères environ par centimètre carré.

» Une densité de courant de 10 est indiquée, par la plupart des fabricants de charbons, comme la plus favorable; c'est également celle qui a été adoptée par M. Blondel pour ses essais comparatifs des arcs à courant continu et à courants alternatifs dans son rapport au Congrès de 1900. Il indique, en effet, 9 et 9,7 comme densité de courant respectivement pour 10 et 15 ampères.

» On emploie souvent en pratique des densités de courant beaucoup plus faibles. Les clients désirent, en effet, une grande durée d'éclairage sans remplacement des charbons et se préoccupent peu, en général, de la quantité de lumière qu'ils reçoivent.

» Aussi, pour diminuer l'usure, on arrive à augmenter de plus en plus le diamètre du crayon, et cela aux dépens du rendement. Cependant, l'arc à courant alternatif étant fort inférieur à l'arc à courant continu, il importe de ne pas accentuer encore la différence.

» La comparaison a donc été faite à 12,7 ampères et comme la tension de 33 volts paraissait convenir pour un certain nombre des charbons essayés, on a fait sur ceux-là des expériences à tension constante et à intensité variable.

» Avant de donner les résultats de ces comparaisons, il est bon de donner les résistances et les poids des charbons essayés.

Renseignements divers sur les charbons comparés.

Marque.	A.		B.		F.		II.
	A	H	A	H	A	H	A
Nature	A	H	A	H	A	H	A
Diamètre	13	12	13	12	13	12	13
Section en milli- mètres carrés..	132,7	113	132,7	113	132,7	113	132,7
Diam. de la mèche.	3	»	3	»	3	»	étoilée
Poids linéaire, gr. par centimètre..	1,86	1,53	1,9	1,76	1,765	1,54	1,72
Densité moyenne apparente.....	1,4	1,35	1,43	1,55	1,33	1,35	1,30
Résistance linéaire ohm par centim.	0,0056	0,0062	0,0048	0,0048	0,0062	0,0067	0,00725
Résistivité moy. microhms-cent..	7520	7050	6470	5380	8280	7600	9600

A. — *Comparaison à intensité constante.*

» Les courbes de *flux lumineux* ont la même allure générale, mais la position et la forme varient avec les charbons (*fig. 10*).

» Je n'entre pas dans le détail de l'examen des courbes, il suffit de dire que la position du maximum varie de 32 à 40 volts et même au delà et que le flux passe de 5000 à près de 7000 lumens.

» On a remarqué pour ces différents charbons que la tension qui donne le maximum du flux est de quelques volts supérieure à celle pour laquelle l'arc cesse de siffler.

» Le *facteur de puissance* a une valeur assez faible tant que l'arc siffle; il atteint son maximum dès que l'arc est silencieux. C'est, suivant la qualité du charbon, de 0,91 à 0,97. Cette valeur reste à peu près constante jusqu'à la tension limite des essais avec cependant une légère tendance à baisser pour 40 à 45 volts.

» Les charbons à basse tension paraissent avoir un facteur de puissance un peu plus élevé que les autres, sans cependant montrer des différences bien systématiques.

» Le *flux puissance* est suffisamment représenté par la figure 11; les courbes sont analogues à celles qui ont été déjà données. La

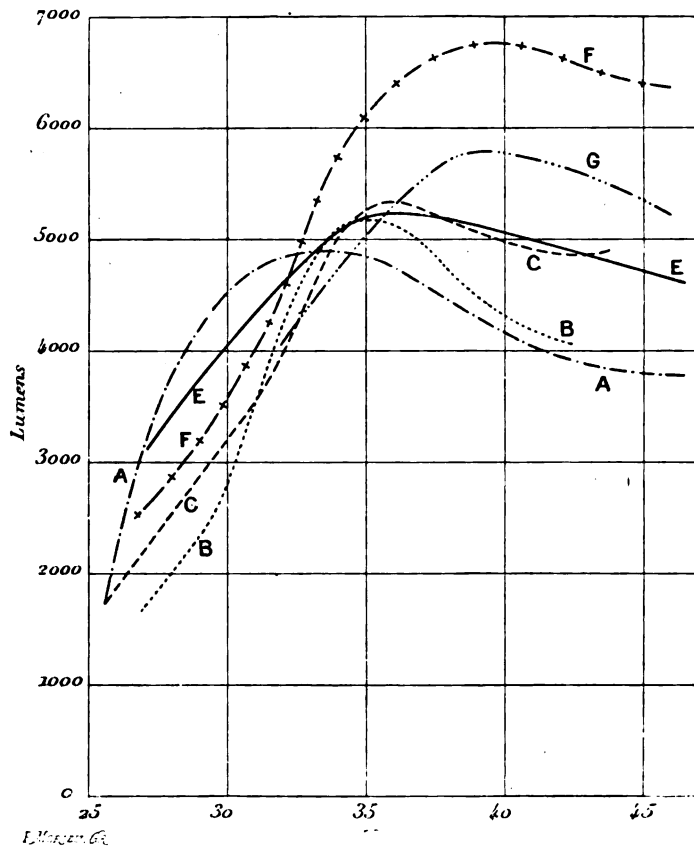


Fig. 10. — Flux lumineux. Intensité constante.

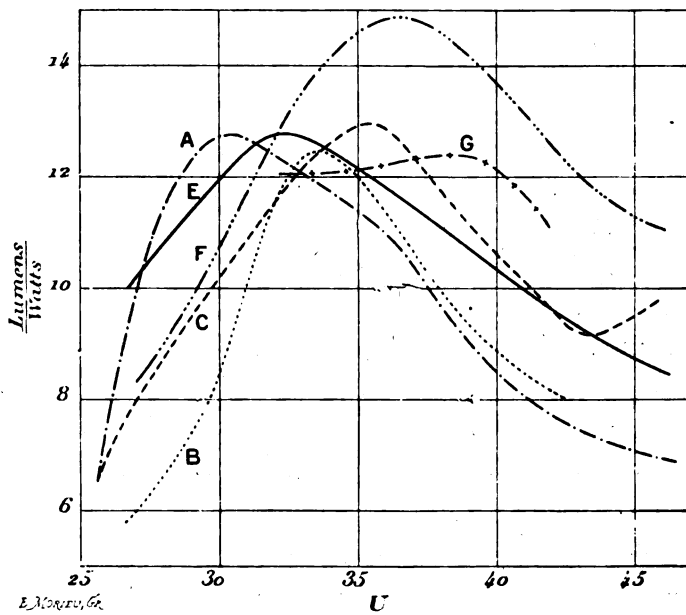


Fig. 11. — Flux puissancique.

position du maximum varie de 30 à 36 volts, suivant la qualité du charbon.

» On voit que le flux puissancique maximum varie de 12,5 lumens par watt à 14,9, suivant la qualité des charbons essayés, et qu'il baisse rapidement dès que la tension dépasse un peu la valeur correspondant au maximum.

» La *variation de l'écart* avec la tension conserve la même allure, c'est-à-dire qu'à partir du moment où l'arc ne siffle plus, l'accroissement de l'écart est proportionnel à celui de la tension, au moins dans les limites des expériences. C'est la loi qu'avait indiquée M^{me} Ayrton pour l'arc à courant continu. Il était fort intéressant également de rechercher les écarts correspondant aux maximum du flux lumineux et du flux puissancique. Voici ceux qui ont pu être déterminés dans des conditions suffisantes d'exactitude :

Charbon	A	maximum de flux pour 3	mm	de flux puissancique	2,5 mm
—	B	—	3,2	—	2,8
—	C	—	3	—	3
—	F	—	3,5	—	2
—	G	—	3,5	—	2

» On voit donc que pour une densité de courant de 9,5 et ces charbons de 13^{mm} de diamètre, le maximum de flux lumineux paraît avoir lieu pour le même écart.

» *Usure.* — On a mesuré la longueur de charbons consommés pour les différents régimes, soit pendant les essais photométriques, soit dans une expérience spéciale. Les mesures ont porté sur une durée de 10 minutes environ (25 à 50 tours de l'arbre de commande de la lampe), mais on a ainsi l'usure totale de la paire de charbons, sans pouvoir distinguer l'usure du crayon supérieur ou inférieur.

» Les résultats obtenus montrent que la consommation varie proportionnellement à la tension, du moins autant que ces expériences assez grossières permettent de le conclure.

» L'usure est plus grande avec les charbons tendres qu'avec les charbons durs. La différence peut atteindre 20 pour 100.

» Il a paru intéressant de se rendre compte de l'utilisation plus ou moins bonne du charbon consommé, au point de vue de la quantité de lumière produite. Cette comparaison est très facile à établir.

» Il suffit de chercher le rapport de la quantité de lumière pro-

duite pendant un certain temps à l'usure en longueur des charbons

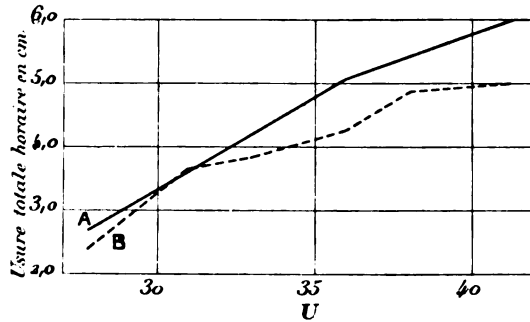


Fig. 12. — Usure.

pendant la même durée.

» La quantité de lumière sera évaluée en lumens-heures et l'usure en centimètres.

» Plus ce rapport sera élevé, meilleure sera l'utilisation des charbons, au point de vue de la lumière produite.

» On obtient ainsi les courbes de la figure 13, qui sont assez ana-

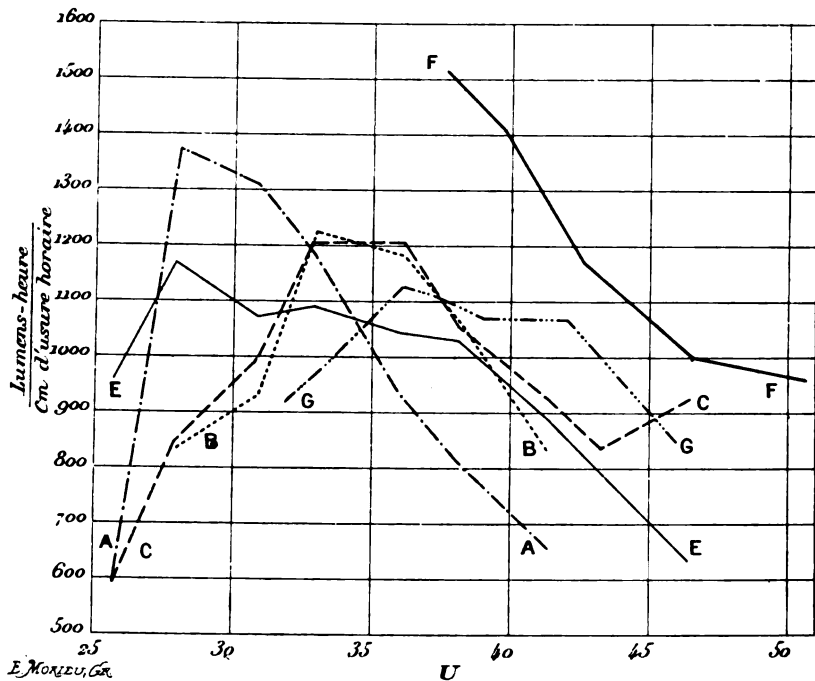


Fig. 13.

logues comme allure générale à celles des flux puissanciques. Elles présentent un maximum pour une tension voisine de celle qui donne

la meilleure utilisation de la puissance électrique dépensée. La variation est rapide de part et d'autre de ce maximum.

» On remarque que les charbons F présentent un certain avantage au point de vue de l'usure et du flux puissancique.

» Il est intéressant de rappeler, à propos de l'usure, le calcul suivant :

» Les charbons, en brûlant, dégagent une certaine quantité de calories, et comme en définitive l'arc est un foyer et qu'il importe d'obtenir la plus haute température possible, on doit tenir compte de ce gain de chaleur.

» Calculons donc ce que représente en watts-heures, l'énergie dépensée par l'usure des charbons.

1 calorie vaut 4,17 joules.

» On trouve pour le nombre de calories fournies par la combustion de 1^{re} de charbon les valeurs de 7500^{cal} à 8000^{cal}. Chaque gramme de charbon brûlé représentera donc en joules

$$4,17 \times 8000 = 33360.$$

» Donc, chaque gramme de charbon brûlé par heure dégagera autant de chaleur que 9 watts-heures environ.

» Par exemple, avec les charbons A à 32,5 volts et 12,7 ampères, l'usure est de 40 mm, soit 6,8 g par heure.

» La combustion du charbon représente donc 58 watts qui viennent s'ajouter aux 400 watts de l'arc et apportent un accroissement d'énergie de près de 15 pour 100.

Charbons marque A (A13/H12). (Voir le tableau III, p. 140.)

TABLEAU VII. — *Charbons B (A13/H12).*

Intensité constante : 12,7 ampères.

Différence de potentiel en volts.	Puissance en watts.	Facteur de puissance.	Flux		Usure horaire en cm.	Écart en mm.
			lumineux en lumens.	puissancique en lumens/watts.		
26,9	285	0,835	1680	5,9	»	»
29,8	330	0,875	2670	8,1	»	»
31,6	360	0,90	3950	11	»	»
35	430	0,97	5180	12	»	»
38,8	475	0,97	4520	9,5	»	»
42,6	510	0,94	4050	8	»	»

TABLEAU VIII. — *Charbons marque C (A 13/H 12).*

Intensité constante : 12,7 ampères.

Différence de potentiel en volts.	Puissance en watts.	Facteur de puissance.	Flux		Usure horaire en cm.	Écart en mm.
			lumineux en lumens.	puissancique en lumens/watts.		
25,7	260	0,80	1725	6,6	»	»
27,9	290	0,82	2545	8,8	»	»
30,9	330	0,84	3490	10,6	»	1,8
32,9	370	0,88	4470	12,1	»	2,1
36	415	0,91	5360	12,9	»	2,7
38,1	435	0,90	5060	11,6	»	4,3
41,3	485	0,925	5020	10,3	»	5,8
43,3	515	0,935	4740	9,20	»	7,7
46,5	570	0,965	5740	10	»	»

TABLEAU IX. — *Charbons marque E (A 13/H 12).*

Intensité constante : 12,7 ampères.

Différence de potentiel en volts.	Puissance en watts.	Facteur de puissance.	Flux		Usure horaire en cm.	Écart en mm.
			lumineux en lumens.	puissancique en lumens/watts.		
26,9	305	0,89	3070	10	»	»
29,8	340	0,90	4000	11,8	»	»
32,4	365	0,89	4680	12,8	»	»
35	430	0,96	5250	12,2	»	»
38,8	470	0,955	5150	10,9	»	»
42,6	515	0,96	4900	9,5	»	»
46,4	550	0,93	4600	8,4	»	»

TABLEAU X. — *Charbons marque F (A 13/H 12).*

Intensité constante : 12,7 ampères.

Différence de potentiel en volts.	Puissance en watts.	Facteur de puissance.	Flux		Usure horaire en cm.	Écarts en mm.	Lumens-heure usure
			lumineux en lumens.	puissancique en lumens/watts.			
26,7	310	0,91	2530	8,15	»	»	»
29,8	335	0,885	3500	10,4	»	0,7	»
32,7	375	0,90	5000	13,3	»	0,7	»
37,7	455	0,05	6600	14,5	4,3	2,1	1510
40,2	495	0,965	6770	13,7	4,8	4,3	1410
42,6	520	0,96	6500	12,5	5,5	5,2	1175
46,6	575	0,955	6370	11,05	6,35	7,3	1000
50,6	620	0,955	6220	10	6,45	9,5	960

TABLEAU XI. — *Charbon marque G (A 13/H 12).*

Intensité constante : 12,8 ampères.

Différence de potentiel en volts.	Puissance en watts.	Facteur de puissance.	Flux		Usure horaire en cm.	Écarts en mm.	Lumens-heure usure
			lumineux en lumens.	puissancique en lumens/watts.			
32	340	0,835	4100	12,05	4,45	»	925
36	430	0,93	5250	12,2	4,65	2,0	1125
39	465	0,93	5780	12,4	5,4	3,3	1070
42	510	0,945	5650	11,05	5,25	5,0	1070
46	555	0,94	5175	9,3	6,1	7,0	845

TABLEAU XII. — *Usure horaire en centimètres.*

Intensité constante : 12,7 ampères.

Tension en volts.	A.	B.	C.	E.
25,7	3,0	»	2,9	2,8
27,9	2,7	2,4	3,0	2,9
30,9	3,6	3,65	3,5	4,0
32,9	4,2	3,85	3,7	»
36	5,1	4,3	4,45	5,0
38,1	»	4,9	4,8	5,2
41,3	6,0	5,0	5,4	5,6
46,5	»	»	6,2	7,0

TABLEAU XIII. — *Lumens-heure par centimètre d'usure totale horaire.*

Intensité constante : 12,7 ampères.

Tension en volts.	A.	B.	C.	E.
25,7	595	»	595	965
27,9	1375	835	845	1170
30,9	1305	930	995	1075
32,9	1165	1225	1205	1090
36	930	1185	1205	1045
38,1	810	1065	1055	1030
41,3	665	830	930	890
43,3	»	»	830	»
46,5	»	»	925	655

B. — *Comparaison à tension constante.*

» Cinq des charbons essayés, les marques A, B, C, E et H, ont été étudiés à la tension constante de 33 volts en faisant varier le courant de 6 à 18 ampères.

» Cette tension était voisine de celle qui donne le maximum de flux pour chacun de ces charbons. Les catégories F et G ont été laissées de côté comme trop dures. Ces expériences avaient pour but non d'établir un classement entre ces charbons, mais de vérifier si la loi générale de variation restait la même pour chacun d'eux.

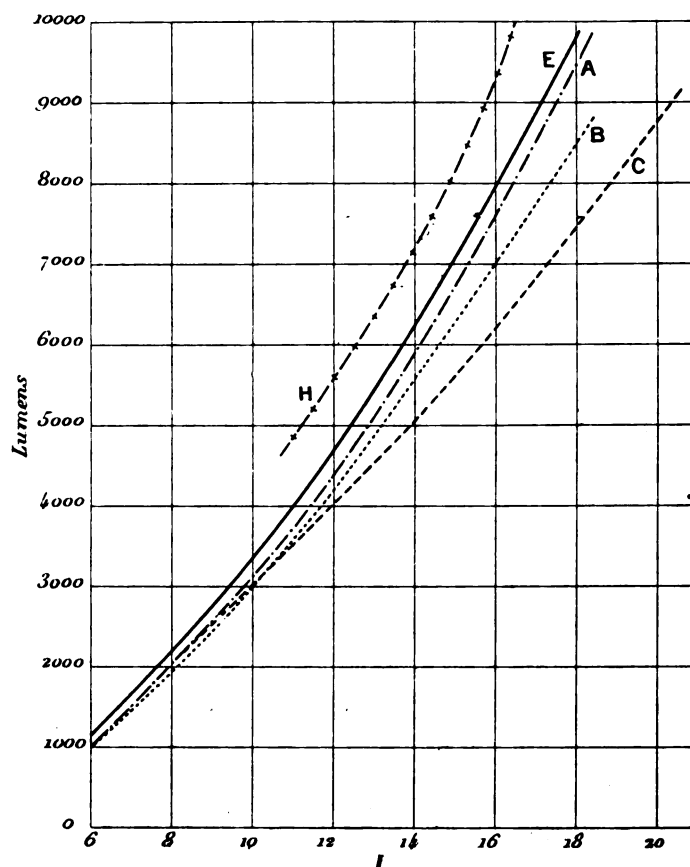


Fig. 14. — Flux lumineux. Tension constante.

» Comme dans tous les essais précédents la bobine de self-induction en série avec l'arc est restée dans le même état.

» Le *flux lumineux* augmente à mesure que l'intensité croît. Les différents charbons qui se classent à la tension de 33 volts de la manière indiquée par la figure 14 ci-contre donnent lieu à des variations de flux tout à fait analogues. Les différentes courbes ne se coupent pas et sont presque parallèles. On constate, comme en courant continu, l'influence très importante de la densité de courant.

» Dans l'étendue de ces mesures, le *facteur de puissance* est à peu près constant pour chaque catégorie de charbons, mais il diffère très notablement d'une marque à l'autre. Ce sont les qualités tendres qui donnent le facteur de puissance maximum tandis que les charbons qui, à 33 volts, sont à la limite du sifflement de l'arc, ont un facteur de puissance plus petit compris, pour les fortes intensités, entre 0,8 et 0,9.

» Quant à l'arc à flamme, c'est lui qui donne les facteurs les plus faibles. Il varie régulièrement de 0,7 à 0,8 quand l'intensité passe de 8 à 18 ampères.

» Les *flux puissanciques* augmentent avec l'intensité du courant et d'une façon sensiblement proportionnelle à la densité du courant jusqu'à 18 ampères, soit une densité de 14 ampères par centimètre carré.

» Le flux puissancique du charbon à flamme est le plus élevé puisque le flux lumineux est supérieur aux autres et que la puissance dépensée est notablement plus faible; pour 12,7 ampères il est de 20 lumens par watt tandis que les autres charbons ne donnent que 11 à 13 lumens par watt pour la même intensité.

» On a rapproché les *dimensions de l'arc* relevées sur la projection comme il a été dit plus haut et les intensités de courant correspondantes.

» La section moyenne de l'arc a été calculée en prenant comme diamètre la largeur moyenne de la partie violette de la flamme.

» On a cherché la densité du courant dans l'arc et le graphique ci-contre montre que cette quantité paraît rester constante pour une série d'expériences à tension constante (*fig. 15*).

» La densité de courant serait notablement plus faible pour un charbon à flamme que pour les charbons ordinaires.

» L'*usure* des charbons augmente à mesure que l'intensité du courant croît, mais cette augmentation n'est pas très rapide et dans les limites des expériences entre 6 et 18 ampères, on peut la regarder comme proportionnelle au courant.

» Les charbons qui s'usent le plus sont les plus tendres; il y a

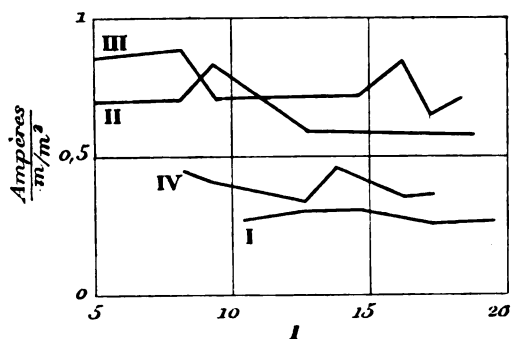


Fig. 15. — Densité de courant dans l'arc.

- | | | | | |
|------|----------|-----|------|--------|
| I. | Charbons | II, | 32,9 | volts. |
| II. | — | E | — | |
| III. | — | A | — | |
| IV. | — | A, | 41,3 | — |

une différence de 20 pour 100 entre les usures des charbons essayés mais les variations sont bien semblables. La consommation des charbons à flamme est beaucoup plus forte.

» Si, comme dans les essais précédents, on cherche quelle est dans chaque catégorie l'utilisation du charbon brûlé en divisant le nombre de lumens-heure produits par l'usure correspondante en centimètres, on peut tracer les courbes ci-contre qui représentent cette variation. On voit que les cinq catégories de charbons y compris le charbon à flamme donnent des résultats tout à fait équivalents pour les différentes intensités à la tension de 33 volts.

» Il faut remarquer également que la quantité de lumière produite par une consommation donnée *croît très notablement avec la densité du courant* (fig. 16).

» On pourrait dire que les quatre marques de charbons essayés qui ont été choisies parmi les meilleures de celles qui existent sont à peu près équivalentes comme valeur industrielle.

» Mais il importe beaucoup au point de vue du flux puissancique

que le réglage de la lampe corresponde aussi exactement que possible à la nature du charbon.

» Il faut aussi attirer encore une fois l'attention sur les avantages que l'on retirerait d'une augmentation de la densité de courant pour la bonne utilisation de l'énergie et du charbon consommé ou

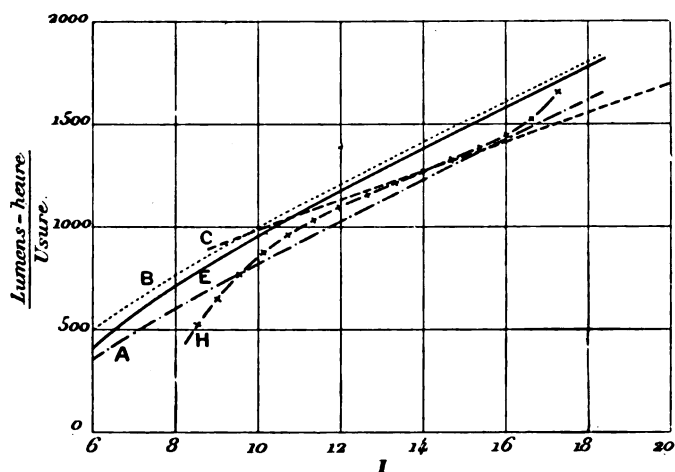


Fig. 16.

de l'usage, dans les lampes alternatives, de charbons d'une qualité plus dure, nécessitant une tension plus élevée.

TABLEAU XIV. — Charbons marque A (A13/H12).

Tension constante : 32,9 volts.

Intensité en ampères.	Puissance en watts.	Facteur de puissance.	Flux		Usure horaire en cm.	Écart en mm.
			lumineux en lumens.	puissancique en lumens/watts.		
6	175	0,90	1040	5,9	»	»
8,2	265?	0,99?	2150	8,1	»	»
9,4	295	0,96	2800	9,5	»	»
12,7	405	0,97	4950	12,2	»	»
14,9	470	0,96	6500	13,8	»	»
16,1	500	0,95	7680	15,35	»	»
17,2	535	0,95	8790	16,1	»	»
18,4	580	0,96	9860	17	»	»

TABLEAU XV. — *Charbons marque B(A13/H12).*

Tension constante 32,9 volts

Intensité en ampères.	Puissance en watts.	Facteur de puissance.	Flux		Usure horaire en cm.	Écart en mm.
			lumineux en lumens.	puissancique en lumens/watts.		
6	150	0,76	1020	6,8	»	»
8,2	265	0,98	2100	7,9	»	»
9,4	305	0,99	2670	8,75	»	»
12,7	405	0,97	4700	11,6	»	»
14,6	470	0,98	6060	12,9	»	»
16,2	510	0,956	7280	14,3	»	»
18,4	590	0,974	8740	14,8	»	»

TABLEAU XVI. — *Charbons marque C(A13/H12).*

Tension constante 32,9 volts.

Intensité en ampères.	Puissance en watts.	Facteur de puissance.	Flux		Usure horaire en cm.	Écart en mm.
			lumineux en lumens.	puissancique en lumens/watts.		
8,2	245	0,91	2150	8,8	»	»
9,4	280	0,91	2700	9,6	»	»
12,7	350	0,84	4400	12,5	»	»
14,9	410	0,837	5550	13,5	»	»
17,2	460	0,813	6940	15,1	»	»
20,6	575	0,85	9120	15,8	»	»

TABLEAU XVII. — *Charbons marque E(A13/H12).*

Tension constante 32,9 volts.

Intensité en ampères.	Puissance en watts.	Facteur de puissance.	Flux		Usure horaire en cm.	Écart en mm.
			lumineux en lumens.	puissancique en lumens/watts.		
6	200?	?	1175	5,9	»	»
8,2	260	0,965	2470	9,5	»	»
9,4	290	0,94	2890	10	»	»
12,7	385	0,92	5300	13,75	»	»
14,9	445	0,91	6950	15,6	»	»
17,2	500	0,885	9100	18,2	»	»
18,4	525	0,865	9920	18,8	»	»
19,5	555	0,865	10450	18,8	»	»

TABLEAU XVIII. — *Charbons marque H(A13/A13).*

Tension constante 32,9 volts.

Intensité en ampères.	Puissance en watts.	Facteur de puissance.	Flux		Usure horaire en cm.	Écart en mm.
			lumineux en lumens.	puissancique en lumens/watts.		
8,2	187	0,70	1935?	10,35	»	»
10,5	250	0,725	4600	18,4	»	6,8
12,7	315	0,755	6270	19,9	»	7,8
14,9	385	0,775	8040	20,9	»	9,3
17,3	470	0,825	11140	23,7	»	10,5
19,5	540	0,84	15450	28,6	»	11,4

TABLEAU XIX. — *Usure totale en centimètres par heure.*

Tension constante : 32,9 volts.

Intensité en ampères.	A.	B.	C.	E.	H.
6	1,5	1,9	2,4	2,8	»
8,2	3,4	2,7	2,7	3,2	4,4
9,4	3,7	2,9	»	3,7	»
10,5	»	»	3,3	»	4,8
12,7	4,5	3,8	3,7	4,0	5,4
13,8	4,8	»	»	»	»
14,9	»	4,2	4,3	4,8	6,0
16,1	5,6	»	»	»	»
17,3	»	4,4	4,7	»	6,6
18,4	5,8	»	»	5,3	7,2
19,5	»	»	5,2	»	»

TABLEAU XX. — *Lumens-heure par centimètre d'usure horaire.*

Tension constante : 32,9 volts.

Intensité en ampères.	A.	B.	C.	E.	H.	Densité du courant en ampères-cm ² .
6	360	500	»	420	»	4,5
8,2	630	780	900	750	440	6,17
9,4	760	920	930	810	»	7,08
10,5	»	»	»	»	940	7,9
12,7	1100	1270	1190	1260	1160	9,55
13,8	»	»	»	»	»	10,4
14,9	1300	1470	1320	1450	1340	11,2
16,1	1450	1670	»	»	»	12,1
17,3	1570	»	1500	1720	1660	13
18,4	1670	1840	»	1820	»	13,85

3° COMPARAISON DE CHARBONS A FLAMME ET DE CHARBONS ORDINAIRES
EN COURANTS CONTINU ET ALTERNATIF.

» Enfin je donnerai, pour terminer, un essai comparatif qui a été fait assez rapidement, qui n'a pu être repris, mais qui offre un certain intérêt, car il permet de comparer dans des conditions à peu

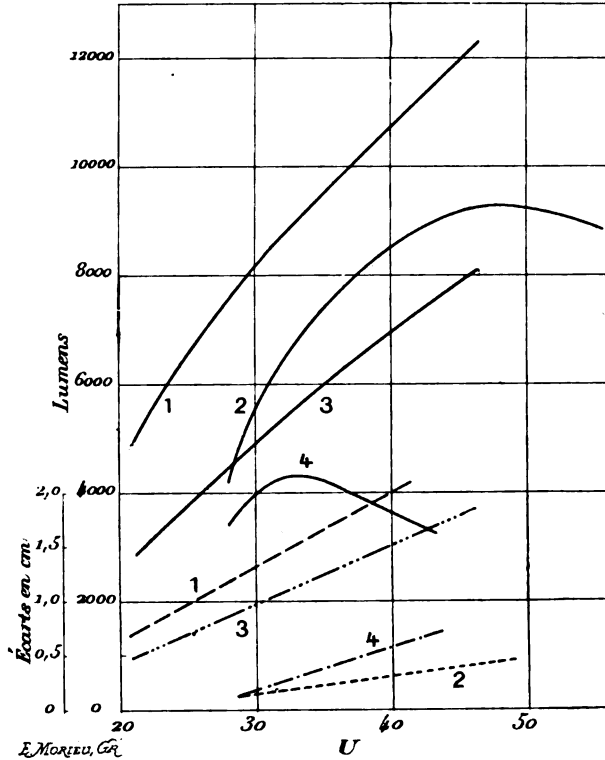


Fig. 17. — Flux lumineux et écart.

1. Courant continu, charbon à flamme.
2. — — — ordinaire.
3. — alternatif, — à flamme.
4. — — — ordinaire.

près semblables les arcs à courants continus et alternatifs avec des charbons ordinaires ou à flamme.

» Ces essais ont été faits à intensité constante de 10 ampères, et à tension variable.

» Les charbons essayés étaient des charbons à flamme $\frac{A_{10}}{A_9}$, ils ont été comparés à des charbons ordinaires, marque E $\frac{A_{11}}{H_9}$.

» Pour les essais en courants alternatifs, l'arc était alimenté par le secondaire d'un transformateur et en série avec l'arc se trouvait une bobine de réactance de 0,02 ohm et de 0,005 henry.

» La densité de courant est un peu plus faible avec les charbons ordinaires : 10,5 au lieu de 12,7 pour les charbons à flamme ; cela leur donne une certaine infériorité au point de vue du flux lumineux, mais les favorise au contraire pour l'usure.

» Les résultats obtenus pour le *flux lumineux* découlent de l'examen même des courbes ci-contre (*fig. 17*), et il est inutile de les commenter. Les courbes se classent dans l'ordre suivant :

» Les charbons à flamme, courant continu, donnent un flux crois-

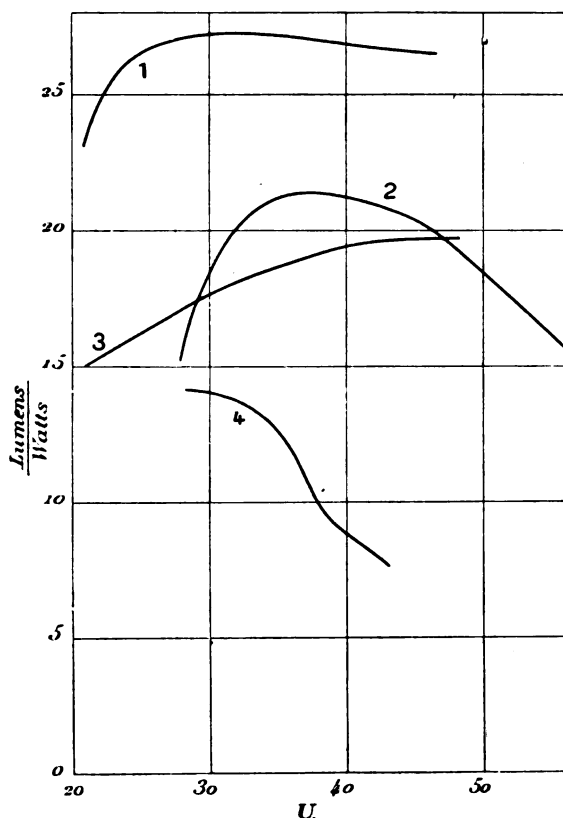


Fig. 18. — Flux puissancique.

sant constamment dans les limites de l'expérience (jusqu'à 50 volts environ).

» Les charbons ordinaires à courant continu ont un flux crois-

sant jusqu'à 48 volts environ, puis légèrement décroissant jusqu'à 55 volts.

» Les charbons à flamme à courants alternatifs produisent un flux lumineux qui croît jusqu'à la limite des essais, 46 volts efficaces.

» Enfin, le flux des charbons ordinaires à courants alternatifs passe par un maximum pour 33 volts environ, et diminue ensuite jusqu'à 43 volts.

» Pour le *flux puissancique*, le classement des différents charbons est encore le même bien que la faible valeur du facteur de puissance de l'arc à flamme en courant alternatif favorise ce charbon (*fig. 18*).

» *Écart.* — Pour les arcs à charbons ordinaires, le maximum du flux lumineux a lieu pour des écarts de 4^{mm} en courant continu, de 2^{mm},5 en courants alternatifs. Pour les charbons à flamme, au contraire, le flux lumineux augmente avec l'écart, l'arc étant la source de lumière prépondérante.

» L'*usure* est beaucoup plus rapide pour les charbons à flamme, et cette usure croît rapidement avec la tension.

» L'*usure* est plus forte avec le courant alternatif qu'avec le courant continu.

» Ces résultats correspondent à l'*usure* totale de la paire de charbons; on n'a pas distingué la part du charbon supérieur et celle du charbon inférieur.

» Si l'on rapporte maintenant, comme on l'a fait précédemment, le flux lumineux à l'*usure* des charbons, on obtient les résultats résumés par la courbe ci-contre (*fig. 19*).

» La courbe correspondant à l'arc à courant continu, avec des charbons ordinaires, est celle qui donne les meilleurs résultats au moins pour les tensions variant entre 25 et 45 volts. Cela tient probablement à la part prépondérante de la lumière produite par le cratère. A mesure que la tension croît, l'*usure* augmente beaucoup, tandis que la quantité de lumière croît lentement puis décroît, ce qui amène la diminution rapide de la courbe jusqu'à la tension limite de l'essai.

» Avec le courant alternatif, le résultat est analogue.

» Au contraire, comme le flux va toujours en croissant avec les charbons à flamme, le rapport étudié, qui décroît notablement pour

les faibles tensions, tend vers une valeur limite et paraît même avoir une tendance à augmenter pour les tensions élevées.

» Comme conclusion de cette comparaison sommaire, on doit

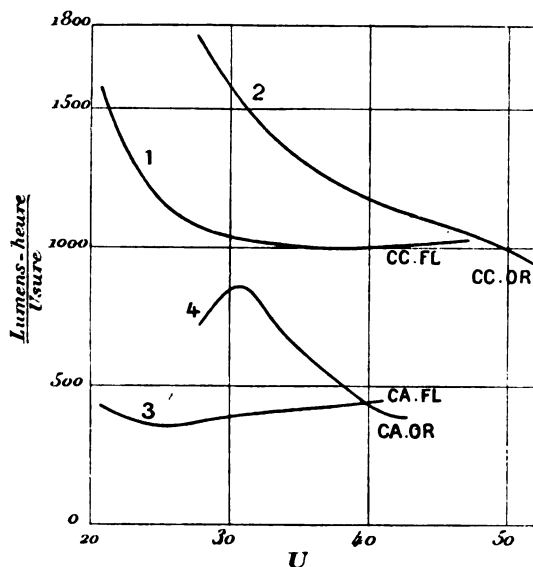


Fig. 19. — Flux lumineux rapporté à l'usure.

reconnaître que la consommation très grande des charbons à flamme essayés (1) est une difficulté pour leur emploi pratique, et il est à craindre qu'on ne puisse réduire leur usure qu'aux dépens du flux lumineux. Il faut aussi constater une fois de plus l'infériorité signalée si souvent de l'arc à courants alternatifs au double point de vue du flux lumineux et de l'usure. »

M. le PRÉSIDENT remercie vivement M. Laporte d'avoir bien voulu compléter si heureusement les renseignements relatifs aux expériences que poursuit le Laboratoire central d'Électricité et sur lesquelles la discussion sera prochainement appelée.

(1) Je rappelle qu'il s'agit ici de charbons à flamme qui étaient dans le commerce en 1902.

BIBLIOGRAPHIE.

La télégraphie sans fil; l'œuvre de Marconi, traduit du *Scientific American*, par E. GUARINI; une brochure. Paris, V^e Ch. Dunod; Bruxelles, Ramlot frères et sœurs.

Ainsi que le dit son titre, ce travail contient, avec une Préface des plus élogieuses à l'adresse du savant italien, par M. Guarini, la traduction en français d'une sorte de monographie sur l'œuvre de Marconi dans la télégraphie sans fil, publiée par le *Scientific American*; elle rappelle les origines et les développements du système Marconi, la description des appareils imaginés par cet inventeur en vue de diverses applications et parle de l'avenir commercial dont ce genre de télégraphie est susceptible.

M. Guarini a intercalé dans cette publication, qui comporte 64 pages avec 88 figures, la reproduction de quelques dispositifs intéressants, de son invention, et complété la traduction en insérant 107 définitions d'appareil ou notes explicatives des termes employés par le journal américain.

Annuaire du Bureau des Longitudes pour 1904. 1 vol. Paris, Gauthier-Villars.

Il sera suffisant, aux ingénieurs et aux hommes de science, d'apprendre que ce petit Volume annuel vient d'être publié par l'Éditeur attitré du Bureau des Longitudes et de savoir qu'il contient, comme toujours, une foule de renseignements indispensables à leurs études.

Cependant, outre d'importantes données physiques et chimiques et une Note de M. Cornu sur les unités électriques usitées dans les applications de l'électricité, il convient de signaler une Notice de M. P. Hatt : *Explication élémentaire des marées* et celle de M. Bouquet de la Grye : *Sur la Conférence géodésique internationale tenue à Copenhague en août 1903.*

L'électricité dans les mines en Europe, par M. GUARINI.

Traduit de *The Engineering Magazine*. Bruxelles; Ramlot frères et sœurs.

M. Guarini expose, dans cet opuscule, quelques-unes des applications de l'électricité à l'exploitation minière, particulièrement celles qui en ont été faites en Allemagne.

Il donne d'abord une vue d'ensemble de la question, les raisons de la rapide extension de la commande électrique dans les mines et montre les divers appareils accessoires dont il y est fait usage. Il décrit ensuite, en mettant à l'appui les figures extraites de *The Engineering Magazine*, les applications électriques à la sécurité, à l'abatage, au transport et au traitement des minerais; il fait ressortir, enfin, l'économie qui résulte de ces applications.

Traité pratique de Télécommunication électrique (télégraphie-téléphonie), par
M. E. ESTAUNIÉ, ingénieur en chef des télégraphes; 1 vol. Paris, V^e Dunod, 1904.

Depuis l'époque déjà lointaine où Blavier publia son *Traité classique de Télégraphie*, alors que la téléphonie était encore dans les limbes, on n'avait pas écrit en France d'Ouvrage plus important et d'un ensemble à plus haut enseignement, sur ce sujet qui est devenu d'intérêt général, puisque, aussi bien, tout le monde pensant s'y intéresse aujourd'hui.

Non que les travaux des Mercadier, des Baudot, des Montillot et tant d'autres ne conservent pas toute leur valeur et que leur mérite indiscutable s'en trouve atténué; mais ces auteurs n'étaient pas encore à même d'entreprendre une classification générale pour laquelle on manquait, en France comme à l'Étranger du reste, de trop nombreux éléments, à peine connus ou restant à naître, et ils avaient dû restreindre leurs publications à l'exposition des faits acquis, à l'analyse de sujets particuliers ou à la description d'appareils spéciaux, un peu au hasard des idées et des découvertes.

Tout différemment et sans se dissimuler les difficultés d'une pareille tâche, M. Estaunié a entrepris de présenter au public un premier *exposé synthétique* des appareils employés pour la télégraphie et la téléphonie, et cela suivant la méthode qui « s'efforce » de mettre en lumière cette unité fondamentale qui se retrouve, en fin de compte, » à la racine de toutes les connaissances humaines ».

Le titre même de son Ouvrage : *Télécommunication électrique*, indique de prime abord la tendance de l'œuvre à procéder par synthèse et dans la suite, du reste, il n'existe de distinction entre la télégraphie et la téléphonie qu'en raison des dispositifs particuliers à ces deux genres de communication à distance qui, ayant le même objet, possèdent aussi les mêmes moyens d'action, moyens sinon tout à fait identiques, au moins analogues et comparables.

C'est dans cet esprit que l'auteur étudie dans un même Chapitre de début les organes constitutifs d'une télécommunication électrique, qu'il s'agisse des piles, des générateurs mécaniques du courant ou de la production des ondes hertziennes; que, plus loin, il examine les cas de transformation de l'énergie, qu'il définit le mode de production des signaux utilisés par les divers transmetteurs à courant continu, à courants alternatifs ou d'ondes hertziennes, ainsi que les récepteurs affectés à ces trois modes d'émission. Un grand Chapitre est consacré à l'étude des appareils télégraphiques usuels ainsi qu'à leur rendement et au moyen d'accroître celui-ci; ce, après une intéressante discussion sur la formation des signaux.

La deuxième Partie de ce remarquable *Traité* serro de plus près la pratique en montrant le principe de l'organisation des bureaux, de quels organes de protection, de permutation et d'essais ils doivent être pourvus; en exposant longuement le problème du montage des bureaux ou postes téléphoniques et télégraphiques et, enfin, en traitant ex-professo la question des installations de mesure que comportent les essais journaliers des lignes et la localisation de leurs dérangements.

En somme, il est permis de dire que M. Estaunié a réalisé sa belle conception au grand avantage de la Télécommunication électrique, et son Ouvrage, qui offre le plus haut intérêt, ne tardera certainement pas à être traduit par toutes les nations que groupe l'union télégraphique. Il est permis de croire, cependant, que les traducteurs parviendront difficilement à rendre, avec la même élégance, les qualités de style et

d'exposition qui distinguent l'érudit auteur de *L'Empreinte*, ce drame psychologique pourtant si littéraire et sorti de la même plume.

Traité pratique de Traction électrique, par MM. L. BARBILLION et G.-J. GRIFFISCH,
Tome II. E. Bernard, éditeur; 1904.

L'indication de *Chapitre VI*, qui apparaît à la première page de ce Volume, montre immédiatement qu'il s'agit de la suite de l'important Traité entrepris par les auteurs sur la Traction électrique.

Chacun des Chapitres : Matériel roulant, Tramways électriques, Chemins de fer électriques, Services spéciaux de traction électrique, Législation, pourrait, à lui seul, justifier l'appellation de *Volume* et constitue une véritable monographie de chacune de ces questions.

Il apparaît même que tel était bien le but poursuivi par les auteurs, chaque Chapitre fournissant un certain nombre de parties subdivisées elles-mêmes en paragraphes bien délimités.

La partie descriptive de cet Ouvrage constitue un recueil documentaire de première utilité; la discussion des projets d'établissement et d'exploitation, tant au point de vue technique qu'économique, est l'objet d'une étude approfondie présentée pour chacun des genres d'application.

Le *Traité de traction électrique* de MM. Barbillion et Griffisch est, à l'heure actuelle, le recueil le plus complet concernant cette branche si active des applications de l'électricité, et, comme tel, a sa place indiquée dans les bibliothèques des Sociétés d'exploitation, des Ingénieurs conseils en cette matière et des Constructeurs.

Die Einrichtungen zur Erzeugung der Röntgenstrahlen (dispositions pour la production des rayons Röntgen), par le D^r B. DONATH, Directeur de la Section physique de l'*Urania*, à Berlin. 2^e édition revue et augmentée (244 pages, 140 figures dans le texte et 3 Planches). Von Reuther et Reichard, éditeurs à Berlin; 1903.

Ce Volume, en sa forme concise, est surtout destiné à ceux qui, appelés à utiliser les applications des rayons Röntgen, peuvent s'intéresser également aux côtés théoriques de la question.

L'Ouvrage débute par le rappel des définitions relatives aux grandeurs électriques et décrit ensuite les appareils générateurs des rayons Röntgen : inducteurs, transformateurs, rupteurs, tubes de Röntgen.

Le couplage des appareils, la radioscopie et la radiographie sont traités dans les derniers Chapitres.

A côté des renseignements pratiques dont ce Volume abonde, le lecteur trouvera la théorie résumée clairement de la production des rayons X.

Conférences d'électricité industrielle. Principes d'électrotechnique.
par M. A. BEGHIN.

Ces conférences, rédigées spécialement en vue de l'enseignement donné par l'auteur à l'École nationale des Arts industriels de Roubaix, comprennent tout d'abord un

rappel des notions de mathématiques et de mécanique les plus indispensables à l'électricien. En raison de leur but, elles affectent plutôt la forme d'une introduction à l'étude de l'électricité générale que d'un cours d'électricité industrielle, cette partie devant faire l'objet, si nous avons bien saisi la pensée de l'auteur, d'une série ultérieure de conférences développées suivant un plan analogue.

Les méthodes de mesures, les définitions des unités et l'exposé des lois générales de l'électricité ont été traités sous la forme concise et claire qui convient pour être comprise des débutants; les applications les plus faciles à saisir, notamment celles concernant les piles et les accumulateurs, et les théories qui s'y rattachent, sont exposées en détail.

Comme manuel des principes généraux de l'électricité, cette publication est appelée à rendre des services aux élèves qui abordent l'étude de cette science; ils y puiseront des notions saines et claires.

Die für Technik und Praxis wichtigsten physikalischen Grössen in systematischer Darstellung sowie Die algebraische Bezeichnung der Grössen physikalische Masssysteme. — *Nomenklatur der Grössen und Masseinheiten*, par OLOF LINDERS, Ingénieur électricien et mécanicien; avec 43 figures dans le texte. (Jäh et Schunke, éditeurs, à Leipzig.) (*Don de l'auteur.*)

(Exposé systématique des grandeurs physiques les plus importantes en technique et en pratique. Désignation algébrique des grandeurs. Système physique de mesures. Nomenclature des grandeurs et unités.)

Cet Ouvrage offre, comme on peut en juger par le titre, un caractère tout à fait original et d'une importance toute spéciale.

Après un exposé très détaillé de la nomenclature et de la définition des unités physiques qu'on rencontre dans l'étude de la Mécanique, de la Chaleur, de l'Optique, de l'Électricité et du Magnétisme, et de leurs dimensions, l'auteur discute le choix des systèmes d'unités et en fait la comparaison.

L'Ouvrage s'adresse aux ingénieurs comme aux étudiants, qui pourront y trouver, outre des renseignements utiles dans les applications, un exposé net et méthodique des principes qui ont présidé à l'établissement des systèmes d'unités.

Transport et distribution de l'énergie par courants continus et alternatifs.

Description du matériel. Calcul des lignes aériennes, par M. CHARLES GRUET, Ingénieur-électricien.

Destiné, dans la pensée de l'auteur, à mettre la grande masse des lecteurs au courant des principes du transport et de la distribution de l'énergie, cet Ouvrage a été débarrassé de toutes complications mathématiques; le calcul a été réduit au strict minimum et encore ne subsiste-t-il que sous une forme des plus élémentaires. La partie descriptive et pratique tient la plus grande place et présente les divers modes de transport et de distribution avec des développements particulièrement étendus en ce qui concerne la distribution pour courant continu en série. A ce titre, ce petit Ouvrage pourra être lu avec intérêt.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

France.

Année (l') électrique, électrothérapique et radiographique. Revue annuelle des progrès électriques en 1903. Quatrième année, par le Dr FOVEAU DE COURMELLES. Paris, Ch. Béranger, 1904; un Volume in-16, broché. (*Don de l'Auteur.*)

Cycles magnétiques. Théorie des cycles moteurs, par Alfred LARIVIÈRE. Paris, en vente chez l'Auteur, 39, rue Torcy, 1904; une brochure in-8° (avec fig.). (*Don de l'Auteur.*)

Electricité (l') agricole, par E. GUARINI. Lausanne, Société suisse d'édition, Paris, librairie Fischbacher, 1904; un Volume in-16, broché (avec figures hors texte). (*Don de la librairie Fischbacher.*)

Houille (la) blanche et l'art des mines. Utilisation pratique et complète d'une chute d'eau pour tous les services d'une exploitation minière, par Maurice LECOMTE-DENIS. Paris, V^{ve} Ch. Dunod, s. d. [1904]; un Volume in-8°, broché (avec 46 figures dans le texte). (*Don de l'éditeur.*)

Leçons d'électrotechnique générale, professées à l'Ecole supérieure d'Electricité. Deuxième édition, revue et augmentée. Tome I. *Généralités. Courants continus,* par P. JANET. Paris, Gauthier-Villars, 1904; un Volume grand in-8°, broché (fig.). (*Don de l'éditeur.*)

Recherches sur les substances radioactives. Thèse présentée à la Faculté des Sciences de Paris pour obtenir le grade de docteur ès sciences physiques, par M^{me} Sklodowska CURIE. Deuxième édition, revue et corrigée. Paris, Gauthier-Villars, 1904; un Volume in-8°, broché (fig.). (*Don de l'éditeur.*)

Recueil d'expériences élémentaires de Physique, publié avec la collaboration de nombreux physiciens. Première Partie, par Henri ABRAHAM. Paris, Gauthier-Villars, 1904; un Volume in-8°, broché (fig.). (*Don de l'éditeur.*)

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Avis relatif aux notations adoptées dans le *Bulletin*, p. 172. — Électrogoniomètre de M. Routin (M. **Chaumat**), p. 173. — Sur la nomenclature électrique (à propos du Congrès de Saint-Louis) (M. **E. Hospitalier**), p. 193. — Liste des candidats pour le renouvellement partiel du Comité d'administration, p. 179.

PÉRIODIQUES ÉTRANGERS, p. 203.

BIBLIOGRAPHIE, p. 208.

OUVRAGES OFFERTS, p. 212.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 2 mars 1904 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. E. HOSPITALIER.

La séance est ouverte à 8^h35^m du soir.

Le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts (*voir* p. 212), et des demandes d'admission suivantes :

(¹) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MM.

Bochet (Louis), Ingénieur de la *Maison Frédéric Fouché*, à Paris, 7, rue de la Mairie, à Nogent-sur-Marne. — Présenté par MM. Bochet et Bouty.

Boyoud (Jean-François-Émile), Directeur de l'*Usine de Calypso* (fabrique d'aluminium), Usine de Calypso, par Saint-Michel-de-Maurienne (Savoie). — Présenté par MM. Brunet et Stephens.

Carré (Charles-Léon), Ingénieur de la *Maison Morel*, 143, rue Saint-Denis, à Paris. — Présenté par MM. le général Sebert et G. Canet.

Gindre (Eugène), Ingénieur à la *Société anonyme le Carbone à Levallois-Perret*, 2, avenue Casimir, à Asnières. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Iglésis (Sébastien-Sauveur), Ingénieur de la *Société la Française électrique* (agence du Nord), 8 bis, rue de Roubaix, à Lille. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Léo (François-Henri-Auguste), Inspecteur de l'*Exploitation au Nord*, 186, avenue Victor-Hugo, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de MM. *A. Bergès*, *A. Jarriant* jeune et *L. Sellier*, membres de la Société, au nom de laquelle il exprime ses regrets.

Des remerciements sont adressés aux auteurs des dons suivants :

SOCIÉTÉ D'APPLICATIONS INDUS-

TRIELLES..... 1 transformateur monophasé 125/60 000 volts. 42 périodes. — 1 régulateur pour transformateur monophasé 74 ohms, 1,54, 7,18 ampères.

M. THIBAUD, 69, rue Sainte-

Anne, à Paris..... 1 lampe à arc, système Perdrisat, de 2 ampères pour courants continus et alternatifs. — 1 rhéostat de réglage.

Conformément à l'article 14 du Règlement, M. le PRÉSIDENT fait connaître les noms des candidats qui seront proposés à l'Assemblée générale du 13 avril pour le renouvellement partiel des membres du Bureau, du Comité d'administration et de la Commission des comptes, savoir :

PRÉSIDENT

pour l'exercice 1905-1906 :

MM.

Bouty (E.), Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

VICE-PRÉSIDENTS :

Blondel (E.), Ingénieur du Service central des Phares, Professeur à l'École nationale des Ponts et Chaussées.

MM.

Clémançon (E.), Président de la *Compagnie générale de Travaux d'éclairage et de force*.

Guillaume (Ch.-Ed.), Directeur adjoint du Bureau international des Poids et Mesures.

TRÉSORIER :

Violet (L.), Ingénieur.

SECRÉTAIRES :

David (Ch.), Ingénieur, Chef de Travaux au Laboratoire central d'Électricité.

Larnaude (E.), Administrateur-Directeur de la *Compagnie française pour la fabrication des lampes électriques à incandescence*.

MEMBRES :

Abraham (H.), Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

Bochet (A.), Ingénieur en chef de la *Maison Sautter, Harlé et Cie*.

Bonaparte (Prince Roland).

Brachotte (A.), Ingénieur de la *Maison Hillairet-Huguet*.

Broca (Docteur A.), Agrégé à la Faculté de Médecine.

Brocq, Sous-Directeur de la *Compagnie des compteurs et matériel d'usines*.

Brunswick (E.), Ingénieur des Arts et Manufactures.

Caillaudet, Membre de l'Institut.

Courtois (G.), Directeur des Usines de constructions électriques à la Société industrielle des Téléphones.

Curie (P.).

Darcq (E.), Directeur au Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et Télégraphes.

Gaiffe (G.), Ingénieur-Électricien.

Gosselin (X.), Chef des Travaux électriques à l'École centrale des Arts et Manufactures.

Korda (D.), Administrateur de la *Société française d'Électricité A. E. G.*

Laporte (F.), Sous-Directeur du Laboratoire central d'Électricité.

Leblanc (Maurice).

Maugas (G.), Ingénieur en chef de la Marine.

Poincaré (L.), Inspecteur général de l'Instruction publique.

Robard (R.), Administrateur délégué de la *Société l'Éclairage électrique*.

Sabouret, Ingénieur en chef du Matériel et de la traction à la Compagnie de l'Ouest.

COMMISSION DES COMPTES :

Eschwège, Directeur de la *Société d'éclairage et de force par l'Électricité*.

Pellissier (G.).

Rey (J.), Ingénieur civil des Mines.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

AVIS RELATIF AUX NOTATIONS ADOPTÉES DANS LE « BULLETIN ».

Par décision du Bureau de la *Société internationale des Électriciens*, les notations adoptées dans le *Bulletin* seront, à l'avenir :

1° En ce qui concerne les *abréviations*, conformes au Tableau annexé au décret du 28 juillet 1903 en exécution de la loi du 11 juillet 1903 ;

2° En ce qui concerne les *symboles*, conformes aux symboles recommandés par la Commission des notations de la Chambre des Délégués du Congrès international des Électriciens tenu à Chicago en 1893. (*Voir* p. 200 et 201.).

Par extension des principes qui ont servi de base à ces décisions, toutes les abréviations d'unités et les opérateurs [log, sin, d (différentielle), f (fonction), etc.] seront imprimés en caractères romains, et tous les symboles en caractères *italiques* ou spéciaux (grec, ronde, gothique, etc.)

Les noms des unités, en entier ou en abrégé, seront écrits à la suite d'une formule ou d'un nombre, en caractères romains, *sur la ligne*, et après la partie décimale, si le nombre en comporte.

Le but de cette décision, à laquelle nous prions les auteurs de vouloir bien adapter leurs manuscrits à l'avenir, est de rendre la lecture des Mémoires plus facile, d'éviter les confusions entre les symboles et les unités, et de supprimer ainsi toute erreur d'interprétation.

ÉLECTROGONIOMÈTRE DE MM. GRAMMONT ET ROUTIN.

M. CHAUMAT. — « Messieurs, l'appareil que j'ai l'honneur de vous présenter sert à déterminer le décalage entre une différence de potentiels et un courant par la mesure directe de l'angle. Il a été pour cette raison appelé, par son inventeur, *électrogoniomètre*. M. Routin a envoyé le premier exemplaire réalisé de son instrument à l'École supérieure d'Électricité, où il a été étudié, et c'est à ce titre que je parle ce soir.

» On peut se demander si, à un moment où la série de Fourier est à juste titre tellement en honneur dans les études électrotechniques et où l'on se préoccupe un peu partout de l'influence des harmoniques, ce n'est pas faire un pas en arrière que de parler de la mesure d'un angle plus ou moins bien défini. Aussi, avant d'exposer la méthode de M. Routin et de décrire ses appareils, je vous demanderai la permission d'une petite digression sur le facteur de puissance, afin de justifier en quelque sorte l'existence d'un appareil de ce genre.

» Quand la différence de potentiels et le courant peuvent être tous deux représentés par une fonction du temps sinusoïdale

$$u = U_m \sin \omega t,$$
$$i = I_m \sin(\omega t - \varphi),$$

l'angle φ a un sens bien net et la puissance est donnée par

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i \, dt = \frac{U_m I_m}{2} \cos \varphi \quad \text{ou} \quad P = UI \cos \varphi,$$

si l'on représente par U et I les valeurs efficaces.

» Dans le cas où la différence de potentiels et le courant sont de forme quelconque, il n'y a plus, à proprement parler, de décalage en angle, mais seulement un décalage en temps entre les zéros des deux fonctions périodiques.

» On sait qu'on peut développer la différence de potentiels et le

courant en séries harmoniques et écrire

$$(1) \quad u = A_1 \sin(\omega t - \alpha_1) + A_2 \sin(2\omega t - \alpha_2) + \dots + A_m \sin(m\omega t - \alpha_m) + \dots,$$

$$(2) \quad i = B_1 \sin(\omega t - \beta_1) + B_2 \sin(2\omega t - \beta_2) + \dots + B_n \sin(n\omega t - \beta_n) + \dots,$$

ces deux expressions indiquant seulement que u et i ont la même période T définie par

$$\omega = \frac{2\pi}{T}.$$

» L'expression générale de la puissance, qui est toujours

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i \, dt,$$

nous donnera, en développant, une somme de termes.

» Le terme général

$$\frac{A_m B_n}{T} \int_0^T \sin(m\omega t - \alpha_m) \sin(n\omega t - \beta_n) \, dt$$

donne deux nouvelles intégrales

$$\frac{A_m B_n}{2T} \int_0^T \cos[(m-n)\omega t + \beta_n - \alpha_m] \, dt$$

et

$$- \frac{A_m B_n}{2T} \int_0^T \cos[(m+n)\omega t - \beta_n - \alpha_m] \, dt,$$

dont la dernière est toujours nulle et dont la première ne diffère de zéro que pour $m = n$. Le terme général de P se réduit finalement à

$$\frac{A_m B_m}{2T} \int_0^T \cos(\beta_m - \alpha_m) \, dt = \frac{A_m B_m}{2} \cos(\beta_m - \alpha_m).$$

» L'expression générale de la puissance sera donc

$$P = \frac{1}{2} \sum A_m B_m \cos \varphi_m$$

en posant pour simplifier $\varphi_m = \beta_m - \alpha_m$.

» C'est dire que la *puissance est égale à la demi-somme des produits des amplitudes des harmoniques de même ordre multipliée par le cosinus de leur différence de phase respective.*

» D'autre part, les appareils thermiques nous font connaître les valeurs efficaces de la différence de potentiels et du courant dont

les valeurs U et I sont données par les expressions

$$U^2 = \frac{1}{T} \int_0^T e^2 dt = \frac{1}{2} (A_1^2 + A_2^2 + \dots + A_m^2 + \dots) = \frac{1}{2} \Sigma A^2,$$

$$I^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt = \frac{1}{2} (B_1^2 + B_2^2 + \dots + B_n^2 + \dots) = \frac{1}{2} \Sigma B^2.$$

» Le *facteur de puissance* $\frac{P}{UI}$, plus petit que l'unité, et qu'on peut toujours par conséquent mettre sous la forme du cosinus d'un angle k , sera donné en général par l'expression

$$(3) \quad \cos k = \frac{\Sigma A_m B_m \cos \varphi_m}{\sqrt{(\Sigma A^2)(\Sigma B^2)}}.$$

» Pour aller un peu plus loin, prenons un cas particulier :

» Une tension de la forme donnée plus haut (1) travaille sur un circuit présentant une résistance R et un coefficient de self-induction L que je suppose constant. Elle donnera un courant qui sera représenté par une somme analogue : le terme général est

$$i_n = \frac{A_n}{\sqrt{R^2 + L^2 n^2 \omega^2}} \sin(n\omega t - \alpha_n - \varphi_n),$$

φ_n déterminé par $\tan \varphi_n = \frac{nL\omega}{R}$.

» $\tan \varphi_n$ tend vers l'infini avec l'ordre des harmoniques, donc φ_n tend vers $\frac{\pi}{2}$ pour les termes d'ordre de plus en plus élevé dans la série et par exemple $\cos \varphi_2 < \cos \varphi_1$.

» D'autre part, si nous laissons de côté les cas anormaux : phénomènes instables, résonance, accidents, nous aurons dans la série un terme principal très important et des termes dont l'amplitude va en décroissant.

» Nous pourrions donc, *dans les cas ordinaires*, nous en tenir aux deux premiers termes, et si $A_2 = \frac{A_1}{p}$, $B_2 = \frac{B_1}{q}$, le numérateur de (3) deviendra

$$A_1 B_1 \left(\cos \varphi_1 + \frac{\cos \varphi_2}{pq} \right).$$

» Au dénominateur, les seuls produits à retenir sous le radical sont

$$A_1^2 B_1^2 + A_1^2 B_2^2 + B_1^2 A_2^2 = A_1^2 B_1^2 \left(1 + \frac{1}{p^2} + \frac{1}{q^2} \right);$$

finalement

$$\cos k = \frac{\cos \varphi_1 + \frac{\cos \varphi_2}{pq}}{\sqrt{1 + \frac{1}{p^2} + \frac{1}{q^2}}},$$

en développant le dénominateur

$$\cos k = \left(\cos \varphi_1 + \frac{\cos \varphi_2}{pq} \right) \left(1 - \frac{1}{2p^2} - \frac{1}{2q^2} \right).$$

» Si p et q sont de l'ordre 10, nous aurons

$$\cos k = \left(\cos \varphi_1 + \frac{\cos \varphi_2}{100} \right) \left(1 - \frac{1}{100} \right);$$

$\cos \varphi_2$ étant $< \cos \varphi_1$, on voit que dans les cas ordinaires $\cos k$ est très peu différent de $\cos \varphi_1$. *L'angle k aura donc un sens défini.*

» Dans le cas envisagé, $\cos k$ représente, à moins de $\frac{1}{100}$ près, le cosinus de la différence de phase entre les deux termes principaux.

» Les mêmes conclusions subsistent évidemment si c'est un terme d'ordre quelconque que l'on retient comme non négligeable devant le terme principal, au lieu du terme d'ordre 2.

» Prenons un autre exemple fictif.

» Imaginons une différence de potentiels sinusoïdale

$$u = u_m \sin \omega t$$

et supposons que chaque demi-onde de l'intensité soit représentée par un triangle isocèle, la courbe passant par zéro en même temps que celle de la tension.

» La série qui représente le courant est la suivante :

$$i = \frac{8i_m}{\pi^2} \left(\sin \omega t - \frac{1}{9} \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\omega t \mp \dots \right),$$

$$I = \frac{i_m}{\sqrt{3}}.$$

» Nous aurons pour $\cos k$

$$\cos k = \frac{\frac{1}{2} u_m \cdot \frac{8i_m}{\pi^2}}{\frac{u_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{i_m}{\sqrt{3}}} = \frac{8\sqrt{3}}{\pi^2 \sqrt{2}} = 0,993,$$

nombre très peu différent de 1, cosinus du décalage des termes principaux.

» Je supposerai, dans ce qui suivra, que nous avons des fonctions sinusoïdales simples.

» Il est à peine besoin d'insister sur l'intérêt que peut présenter un appareil qui donne directement l'angle de décalage avec assez de sensibilité, surtout pour des décalages faibles. Lorsqu'on déterminera le facteur de puissance par la mesure de la puissance, de la différence de potentiels et de l'intensité efficaces, ce facteur sera affecté d'une erreur qui pourra devenir importante, puisque sa mesure comporte trois lectures avec des appareils qui peuvent comporter, d'ailleurs, des erreurs d'étalonnages.

» Or, une erreur de 4 pour 100 seulement sur ce facteur (erreur possible) nous conduirait à admettre $\cos \varphi = 1$, quand le facteur de puissance serait égal à 0,96 par exemple ($\varphi = 16^{\circ},5$). C'est dire que $\sin \varphi = 0,274$ au lieu de 0. C'est dire encore que les 27 pour 100 du courant total fourni par le réseau serait du courant déwatté quand nous croirons le courant complètement watté.

» Un appareil donnant directement l'angle sera donc très avantageux. Je ne fais que signaler les avantages qu'il peut présenter sur un wattmètre, toujours un peu délicat et d'une sûreté de fonctionnement toujours un peu incertaine, et les avantages de son prix s'il est modique sur celui des wattmètres de calibre un peu fort.

» L'appareil de M. Routin a été réalisé pour des circuits triphasés. Je n'envisagerai tout d'abord que ce cas, le plus général. Un artifice nous permettra d'appliquer la méthode aux circuits monophasés.

» *Principe de la méthode.* — C'est une méthode de zéro. On oppose deux différences de potentiels de même valeur efficace, et dont l'une au moins devra être réglable en grandeur : l'une U_1 en *phase avec l'intensité*, l'autre U_2 dont l'angle de phase par rapport à la phase de la tension pourra être modifié à volonté et connu à chaque instant.

» Ces deux tensions se feront équilibre lorsque leur différence de phase sera exactement de 180° et l'appareil de zéro, qui pourra être un voltmètre thermique du plus petit calibre, ne marquera rien. Si à cet instant on connaît le décalage de U_2 par rapport à E , c'est aussi le décalage de U_1 sur E , c'est-à-dire de I sur E .

» La tension U_1 sera donnée par un transformateur spécial, la tension U_2 par un autre appareil que nous appellerons avec son

auteur le *décaleur*. Et voici le schéma complet du montage dans le cas d'un circuit d'utilisation monté en étoile (*fig. 1*).

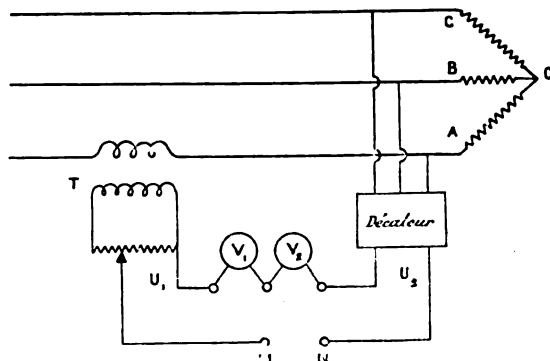


Fig. 1.

» En T, transformateur donnant U_1 en phase avec le courant dans la branche A.

» En D, le décaleur donnant la tension U_2 de phase réglable par rapport à la phase de la tension AO.

» En V_1 et V_2 , deux voltmètres thermiques, en série : l'un V_2 nous permettra, V_1 étant en court-circuit, de mesurer U_1 et U_2 à l'aide d'un commutateur à deux directions et de les régler à la même valeur.

» Enfin, pour la mesure, nous mettrons un pont en MN. Nous réglerons la phase de U_2 sans changer sa valeur en nous servant de V_2 d'abord et nous achèverons le réglage en mettant V_2 en court-circuit et V_1 en service.

» *Sensibilité de la méthode.* — On pourrait craindre que le peu de sensibilité des thermiques pour de basses tensions ne fût un obstacle à la sensibilité de la mesure, d'autant que la tension composée passera par un minimum nul (avec une variation faible par conséquent autour de ce point).

» Si les deux tensions que je suppose égales sont décalées d'un angle φ , la tension composée aura pour valeur efficace

$$e^2 = 2E^2 - 2E^2 \cos \varphi = 2E^2(1 - \cos \varphi) = 4E^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2},$$

$$e = 2E \sin \frac{\varphi}{2}.$$

» Si $E = 20$ volts et si l'on admet, ce qui est large, que les thermiques de petit calibre peuvent déceler 0,1 volt (déceler et non mesurer)

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{0,1}{40} = \frac{1}{400}, \quad \frac{\varphi}{2} = 9 \text{ minutes},$$

$$\varphi = 0,33 \text{ degré};$$

on pourra donc régler avec cette précision si le décaleur le permet.

» Si les deux tensions ne sont pas rigoureusement égales, quand elles sont en *opposition*, la tension composée passe par un minimum.

» Voyons maintenant comment les deux tensions U_1 et U_2 sont obtenues.

» *Transformateur.* — Il s'agit d'obtenir une différence de potentiel en phase avec le courant ou présentant par rapport à lui un décalage de $\frac{\pi}{2}$. Ceci peut être obtenu, avec une approximation très grande, à l'aide d'un transformateur.

» I. Une première solution consiste à prendre un transformateur à circuit magnétique fermé, dont le primaire est en série sur le courant principal, et de prendre, aux bornes du circuit secondaire, la tension dont on a besoin. La méthode étant une méthode de réduction à zéro, le secondaire ne débite aucun courant et tout se passe comme si le secondaire était à circuit ouvert. Dans ces conditions le courant watté dû aux pertes par hystérésis et courants de Foucault a une grande importance relative et le courant est en avance d'un angle notable ψ sur le flux. Il s'ensuit que la tension aux bornes du secondaire n'est pas non plus en quadrature avec le courant primaire.

» On pourrait remédier à cet inconvénient en ouvrant le circuit magnétique de façon à donner aux ampères-tours magnétisants la prédominance et l'on a pu calculer un transformateur dans lequel l'angle ψ était réduit à 1°.

» Mais l'expérience a montré que les courbes de la tension secondaire et du courant primaire relevées avec l'ondographe de M. Hospitalier sont extrêmement dissemblables.

» II. On est donc revenu au circuit magnétique fermé: le circuit secondaire étant fermé sur une résistance non inductive réglable. Cette fois on donnera la prédominance à la composante wattée du courant de façon à amener le courant primaire sensiblement en quadrature sur le flux, c'est-à-dire en phase avec la tension.

» Les équations bien connues du transformateur, en négligeant les fuites et en supposant un fer de perméabilité constante sont :

$$(1) \quad 0 = r_2 i_2 + n_2 \frac{d\Phi}{dt},$$

$$(2) \quad \mathcal{R} \Phi = 4\pi n_1 i_1 = 4\pi n_2 i_2.$$

» De (2) on tire

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{4\pi n_1}{\mathcal{R}} \frac{di_1}{dt} + \frac{4\pi n_2}{\mathcal{R}} \frac{di_2}{dt},$$

et en portant dans (1), on obtient

$$(3) \quad 0 = r_2 i_2 + \frac{4\pi n_2^2}{\mathcal{R}} \frac{di_2}{dt} + \frac{4\pi n_1 n_2}{\mathcal{R}} \frac{di_1}{dt}.$$

D'où la construction géométrique (fig. 2 et 3).

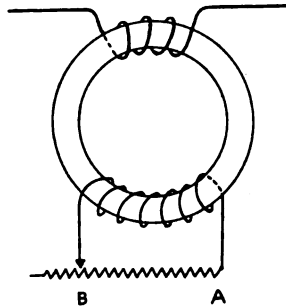


Fig. 2.

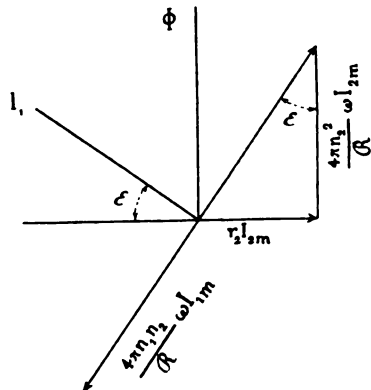


Fig. 3.

» La tension aux bornes AB de la résistance non inductive, qui sera la tension utilisée, sera au signe près décalée de l'angle ϵ sur I_1 .

Cet angle est défini par $\tan \epsilon = \frac{\mathcal{R} r_2}{4\pi n_2^2 \omega}$.

» Il croît avec r_2 , mais on pourra le réduire en augmentant n_2 et en prenant un circuit magnétique court.

» Les pertes par hystérésis et courants de Foucault seront favo-

rables ainsi que l'existence de fuites magnétiques au secondaire, mais ces effets sont négligeables.

» D'après l'équation (1) le flux Φ est en quadrature (en avant) par rapport à I_2 .

» D'autre part il est donné par

$$\Phi = \frac{4\pi n_1}{\mathfrak{A}} i_1 + \frac{4\pi n_2}{\mathfrak{A}} i_2,$$

il est donc la résultante de deux vecteurs en phase l'un avec I_1 , l'autre avec I_2 . D'autre part, sa direction nous est connue. Nous aurons donc immédiatement

$$\Phi_{\max} = \frac{4\pi n_1}{\mathfrak{A}} I_{1m} \cdot \sin \varepsilon,$$

d'où

$$(1) \quad \sin \varepsilon = \frac{\frac{\mathfrak{A}\Phi}{4\pi}}{n_1 I_{1m}};$$

$\frac{\mathfrak{A}\Phi}{4\pi}$ représente, au facteur près $\sqrt{2}$, le nombre d'ampères-tours nécessaires pour produire le flux et l'équation (4) est une première équation de condition donnée par $\varepsilon < 1$ degré par exemple.

» Une deuxième équation de condition nous sera donnée par la nécessité évidente d'absorber, dans le circuit primaire, une différence de potentiel assez faible pour que l'introduction du transformateur dans une des lignes n'apporte pas de dissymétrie notable dans les tensions du réseau.

» La première équation nous conduit à une limite inférieure du nombre de spires primaires pour une intensité donnée.

» La deuxième condition nous conduit évidemment à une limite supérieure du flux.

» En serrant le problème de plus près, et en cherchant à dimensionner l'appareil, on a pu réaliser un transformateur pour une intensité maxima de 100 ampères et une tension étoilée de 110 volts.

» Le circuit primaire comprend 4 bobines en parallèle de chacune 25 spires, admettant chacune 25 ampères pour l'intensité maxima. Ce qui nous donne 2 500 ampères-tours primaires.

» Le secondaire comprend 1 800 spires.

» Avec les 4 bobines primaires en parallèle, l'angle ε est < 1 degré.

entre 75 et 100 ampères et la force contre-électromotrice est de 1,1 volt.

» En couplant en série les bobines primaires, on peut obtenir la même limite $\varepsilon < 1$ degré pour des courants de 18 à 25 ampères, mais la force contre-électromotrice est quatre fois plus grande.

» III. Pour la commodité de l'emploi, M. Routin s'est arrêté à un autre dispositif que nous n'avons pas encore expérimenté.

» En principe, le transformateur comporte 3 enroulements (fig. 4),

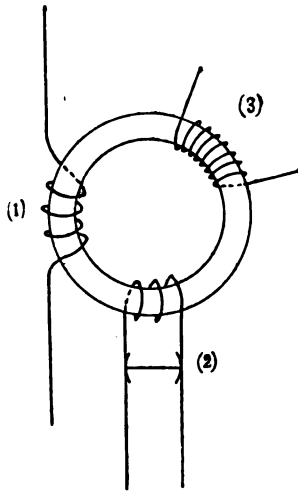


Fig. 4.

le primaire comme précédemment, en série sur le circuit principal ; un secondaire est mis en circuit sur une résistance non inductive réglable. Enfin, c'est aux bornes d'un troisième enroulement que nous prendrons la tension d'utilisation.

Le circuit (2) réalise une véritable *soupape de flux* et l'on obtient le réglage en agissant sur le contact glissant qui permet de faire varier r_2 .

» Cela résulte immédiatement des équations précédentes

$$\Phi = \frac{4\pi n_1}{\mathcal{R}} I_1 \cdot \sin \varepsilon,$$

le flux est donc proportionnel à $\sin \varepsilon$ et pour de petites valeurs de cet angle à $\tan \varepsilon$, c'est-à-dire à r_2 .

» On réalisera ainsi, aux bornes de (3), une tension réglable en quadrature avance sur le flux, c'est-à-dire en avance sur i , de notre angle ϵ . On augmentera la valeur efficace de cette tension en augmentant r_2 ; le danger est qu'on accroît en même temps ϵ , on dimensionnera facilement l'appareil de façon à rester dans les limites que nous nous sommes fixées.

» *Décaleur ohmique.* — Pour obtenir une différence de potentiel réglable en valeur efficace et en phase, M. Routin, dans son premier brevet, a indiqué d'abord en principe l'emploi d'un transformateur à champ tournant à deux noyaux concentriques. Le noyau extérieur est fixe et ses enroulements sont directement connectés aux bornes de l'alternateur. Le bobinage secondaire est porté par un noyau mobile dont le déplacement angulaire par rapport au noyau fixe permet de régler la phase de la tension secondaire, sa valeur efficace restant la même pendant le mouvement.

» Cette solution a été abandonnée comme trop compliquée et trop coûteuse à réaliser. M. Routin a imaginé un second dispositif qu'il appelle le *décaleur ohmique* qui, en dehors de l'application spéciale qui nous occupe, peut rendre de grands services dans un laboratoire. Je le décrirai avec quelques détails.

» Imaginons trois fils métalliques rectilignes AO, BO, CO bien homogènes, de même longueur et de même résistance, connectés en étoile et disposés à 120 degrés l'un de l'autre (fig. 5).

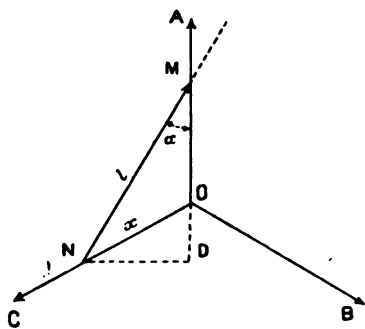


Fig. 5.

» Nous alimenterons ce circuit par la source triphasée, et, pour fixer les idées, j'admets que la tension étoilée OA étant prise comme

origine des phases, la tension OB soit décalée de $\frac{2\pi}{3}$ en arrière dans le sens ordinaire de la représentation des vecteurs. Tout est symétrique et le même courant circule dans les trois fils.

» Appliquons sur deux de ces fils une réglette isolante MN présentant en M et en N deux contacts à la distance l l'un de l'autre.

» La différence de potentiel entre ces points, prise dans le sens $M - N$, est représentée en grandeur et en phase par le vecteur MN puisqu'elle résulte de la composition des deux tensions OM et $-(ON)$ évidemment proportionnelles aux longueurs OM, ON. Cette tension est en retard sur OA de l'angle α . Si l'on fait glisser la réglette sur les deux conducteurs OA et OC, la phase variera de 0 à 60 degrés (pour la coïncidence avec OC) et, si l'on continue le mouvement dans le même sens de façon à faire glisser maintenant les deux contacts sur OC et OB, l'angle de décalage continuera à augmenter et pourra atteindre 90 degrés et au delà.

» Si, partant de la position AO on avait fait se mouvoir la réglette en sens inverse de façon à la faire glisser d'abord sur OA et OB, on aurait eu de même une tension composée dont l'angle de phase aurait crû à partir de 0, mais cette fois en avance sur la tension OA.

» Pendant tous ces mouvements, si la distance l des deux contacts est bien restée constante, et elle est assurée par la rigidité de la réglette, la valeur efficace de la tension se maintiendra elle-même constante. Elle ne dépend que de la distance l , de la tension d'alimentation et de la résistance du fil par unité de longueur.

» Cette disposition, très simple en apparence, se prête assez mal à une réalisation pratique, mais on peut remplacer le mouvement de glissement par une rotation de la réglette de contact autour d'un centre.

» Rien n'empêche, d'abord, de constituer chacune des branches de deux fils parallèles; tous les fils étant réunis en O (*fig. 6*).

» Enfin, nous pouvons *déformer* la figure en disposant les six fils bout à bout sur une circonférence, les extrémités des branches étant reliées au point neutre par des connexions en étoile de résistance négligeable (*fig. 7*).

» Notre réglette pourra maintenant se mouvoir autour du centre O et elle prendra contact sur les fils périphériques en deux points

diamétralement opposés M et N. Cette règle diamétrale, dans son mouvement autour du point O, nous permettra encore de réaliser entre M et N une différence de potentiel de phase variable, mais sauf

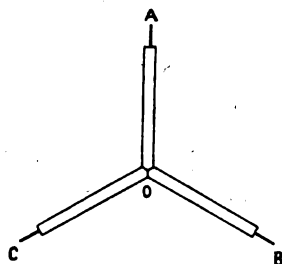


Fig. 6.

pour les positions limites AO, CO, BO, il n'y a, *pour l'instant*, aucun rapport simple entre l'angle α de la figure 5 et l'angle β que fait maintenant MN avec le diamètre AO.

» Si l'on veut que l'angle AOM représente l'angle de phase primitif α , il faut évidemment que la résistance du point O au point

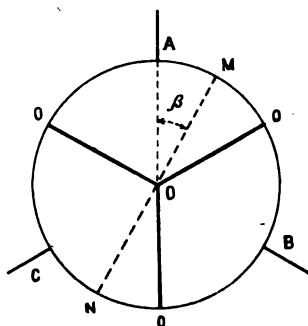


Fig. 7.

N soit la même fonction de l'angle que dans la première figure. (Il en doit être évidemment de même de la résistance OM, mais la symétrie parfaite du système triphasé nous fait prévoir qu'il en sera bien ainsi.)

» Or (fig. 5), si nous appelons x la distance ON, nous avons

$$ND = x \sin 60^\circ = l \sin \alpha,$$

$$x = \frac{l \sin \alpha}{\sin 60^\circ} = \frac{2l}{\sqrt{3}} \sin \alpha.$$

» La résistance R de ON sera kx (k étant la résistance de l'unité

de longueur du fil rectiligne) :

$$R = \frac{2kl}{\sqrt{3}} \sin \alpha;$$

c'est dire que la variation de résistance en fonction de l'angle sera donnée par

$$\frac{dR}{d\alpha} = \frac{2kl}{\sqrt{3}} \cos \alpha.$$

» Cette variation de la résistance avec l'angle ne saurait être commodément réalisée par une variation continue de la section du conducteur OC.

» On obtiendra cet accroissement en formant le conducteur OC d'un fil homogène enroulé à la façon d'un anneau Gramme, en spires consécutives aussi rapprochées que possible sur une surface cylindrique dont le cercle ABC serait la projection horizontale.

» Il est clair alors que les longueurs des spires successives devront être limitées à la courbe

$$\frac{2kl}{\sqrt{3}} \cos \alpha$$

qui sera la courbe limite inférieure de la surface cylindrique.

» En représentant cette surface développée on aura la figure suivante (fig. 8) :

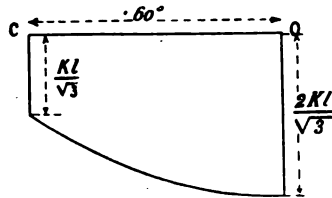


Fig. 8.

» Pour $\alpha = 60^\circ$ l'ordonnée est $\frac{kl}{\sqrt{3}}$.

» Si, à partir du court-circuit étoilé, la résistance varie suivant la même loi vers les trois points d'alimentation, la résistance de O à M vers A sera

$$\begin{aligned} \frac{2kl}{\sqrt{3}} \sin(60^\circ - \alpha) &= \frac{2kl}{\sqrt{3}} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cos \alpha - \frac{1}{2} \sin \alpha \right) \\ &= kl \left(\cos \alpha - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{3}} \right). \end{aligned}$$

- » C'est ce que donnerait immédiatement la figure 5.
- » Le développement de la surface latérale du cylindre sera donné par la figure 9.

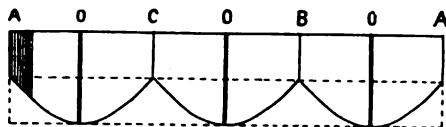


Fig. 9.

» Le cylindre sur lequel seront enroulées les spires sera constitué par un tambour en bois dont l'épaisseur doit évidemment varier suivant la même loi. Pour plus de simplicité dans la construction, l'épaisseur du tambour est constante et l'on retranche une longueur constante aux ordonnées de la courbe précédente.

» Des traits de scie, limités à cette courbe et bien régulièrement espacés, servent à maintenir les spires en place.

» On peut ainsi obtenir une tension de valeur efficace constante et dont la phase variera d'une façon discontinue. Avec une division suffisamment serrée du tambour et des dimensions d'encombrement acceptables on peut faire varier la phase degré par degré. On peut d'ailleurs régler la valeur efficace de cette tension en mettant en avant des trois points d'alimentation trois résistances non inductives égales.

» Dans l'appareil réalisé la tension d'alimentation est ainsi réduite à 43 volts, ce qui donne $\left(\frac{43}{\sqrt{3}}\right)$ 25 volts pour la tension étoilée, qui est aussi la tension utilisée.

» La grande consommation, en ampères, des voltmètres thermiques fait que l'introduction du voltmètre pour la mesure de la différence de potentiels fournie par le décaleur trouble la symétrie.

» En fait, pour des tensions *apparemment* égales, on n'obtenait jamais le zéro à l'appareil d'équilibre.

» Aussi a-t-on substitué au thermique un ensemble formé d'un clapet électrolytique et d'un voltmètre à courant continu. Cet ensemble consomme peu. On ne saurait ainsi mesurer les tensions et l'indication n'a que la valeur d'un repérage, car il n'y a pas proportionnalité entre les différences de potentiels efficaces et les mesures relevées au voltmètre pour courant continu.

» *Résultats numériques des essais.* — Les essais ont été faits avec un petit générateur triphasé qui, pour l'intensité la plus faible pour laquelle le transformateur avait été calculé, marchait à pleine puissance. Il donnait environ 100 volts entre les lignes et le point neutre.

» Dans ce cas, la nécessité d'introduire, dans la même ligne, le circuit primaire du transformateur (dont les quatre bobines étaient en série), le circuit à gros fil d'un wattmètre et un ampèremètre, provoquait une chute de tension voisine de 2 volts. Cela est de nature à introduire une dissymétrie dans les tensions d'alimentation du décaleur ohmique.

» Voici les résultats des essais (1) :

» Le générateur était mis en charge sur un circuit étoilé symétrique dont on pouvait faire varier la constante de temps à charge apparente constante, ou sensiblement.

» Pour chaque point, trois valeurs de l'angle de décalage ont été mesurées au décaleur : l'une donnant l'équilibre et les deux autres, de part et d'autre de la précédente, donnant des déviations égales à l'appareil de zéro.

» La moyenne de ces deux dernières valeurs de l'angle s'écartait très peu de la première.

» De même, pour chaque point on a fait trois relevés au moins au voltmètre, à l'ampèremètre et au wattmètre :

Facteur de puissance.	λ calculé en degrés et en minutes.	φ mesuré en degrés et en minutes.	$\cos \varphi$.
0,823	34 30	34	0,829
0,58	54 30	52	0,616
0,44	64	62	0,469
0,32	71 30	70 30	0,334
0,242	76	74	0,276
0,12	83	81 30	0,148

» La concordance paraîtra suffisante si l'on songe aux imperfections forcées dans la construction d'un appareil d'études, imperfections qui peuvent apporter le défaut le plus grave : la non-con-

(1) Les essais préliminaires ont été commencés, à l'École supérieure d'Électricité, par M. Biver, et les mesures définitives faites par M. Ilievici.

stance de la tension pour les différentes positions de la manette du décaleur ohmique.

» Il est infiniment probable qu'une construction meilleure de l'appareil conduirait à des résultats plus satisfaisants encore.

» On a pu constater qu'une variation dans la position de la manette de 1 degré à droite ou à gauche donnait une variation très sensible à l'appareil de zéro.

» Une imperfection dans la prise des contacts tendrait aussi à donner des résultats erronés.

» *Essais en monophasé.* — Nous avons à l'École supérieure d'Électricité un groupe composé d'un moteur qui conduit par deux accouplements élastiques en bout d'arbre deux générateurs, l'un monophasé, l'autre triphasé.

» Ceci nous a permis de faire des mesures de décalage en circuit monophasé.

» Le décaleur ohmique était alimenté par le générateur triphasé dont on pouvait faire varier l'excitation et qui fonctionnait presque à vide.

» Aux bornes A et B du générateur monophasé étaient branchés deux circuits (*fig. 10*) :

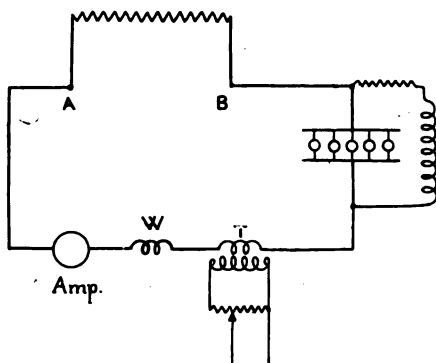


Fig. 10.

» 1° Un circuit auxiliaire formé d'une résistance non inductive fixe qui servait à déterminer l'origine des phases par la mesure du décalage de la tension du générateur monophasé sur l'une des tensions étoilées du générateur triphasé. Cette phase est quelconque et

dépend des conditions mécaniques de l'accouplement. On peut évidemment admettre que cette phase reste constante pendant une mesure puisque rien ne change.

» 2° Le circuit de charge, circuit inductif complexe comprenant un rhéostat de lampes aux bornes duquel sont en série une bobine de self et une résistance non inductive. On réalise ainsi un système très souple pour la variation du facteur de puissance.

» C'est sur ce circuit de charge qu'étaient montés ampèremètre, circuit à gros fil d'un wattmètre, transformateur.

» Les résultats sont consignés dans le Tableau ci-dessous.

» L'angle est donné par la différence de deux lectures, l'une correspondant à la tension du circuit monophasé, l'autre à l'intensité :

Facteur de puissance.	k calculé en degrés et en minutes.	φ mesuré en degrés et en minutes.	$\cos \varphi$.
1	0	0 30	1
0,825	34 30	32 30	0,843
0,783	38 30	36 30	0,804
0,507	59 30	59	0,515
0,416	65 15	66	0,407
0,207	78 15	78	0,208

» La concordance est meilleure pour les décalages considérables ; il n'y a pas de dissymétrie cette fois dans les tensions qui alimentent le décaleur.

» *Autres méthodes.* — On a fait aussi quelques mesures, qui ont confirmé les précédentes en ne cherchant pas à régler la phase de la tension.

» Les deux tensions U_1 et U_2 étant égales, on place le goniomètre de façon à avoir une différence de potentiel en phase avec la tension.

» On lit la tension résultante E_1 . On fait tourner de 180 degrés, on lit E_2 ; on a immédiatement (*fig. 11*) $\tan \frac{\varphi}{2} = \frac{E_2}{E_1}$.

» Cette méthode permet la suppression du décaleur ohmique et elle s'applique avec la plus grande facilité aux circuits monophasés ; faire tourner de 180 degrés la manette du décaleur ohmique revient en effet à renverser le sens des connexions.

» Il n'est même pas nécessaire de mesurer la tension composée E_2 . Il suffit de mesurer la tension E_1 , résultante des deux tensions

égales U_1 et U_2 l'une en phase avec la tension, l'autre en phase avec l'intensité.

» Sous cette forme, la méthode n'est qu'une variante de la méthode bien connue des trois voltmètres pour la mesure de la puissance.

» Cette méthode, dont le schéma ci-contre rappellera suffisamment

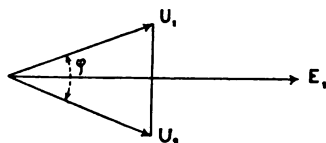


Fig. 11.

le principe, donne la puissance par la lecture de trois appareils propres à mesurer les différences de potentiels efficaces.

» Entre les points A et B se trouve l'appareil d'utilisation; en série est une résistance non inductive R (fig. 12).

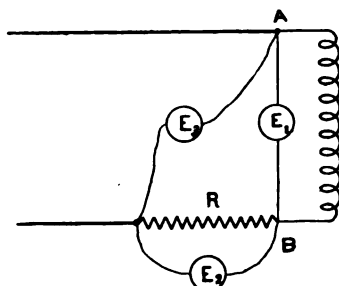


Fig. 12.

» On a

$$P = \frac{I}{2R} (E_3^2 - E_1^2 - E_2^2),$$

E_1 , E_2 , E_3 représentant les indications des voltmètres.

» Si les deux tensions E_1 et E_2 sont égales, on a, en remplaçant R par sa valeur $\frac{E_1}{I}$,

$$P = \frac{I}{2E_1} (E_3^2 - 2E_1^2).$$

« D'où, pour la valeur du facteur de puissance,

$$\frac{P}{E_1 I} = \frac{E_3^2}{2E_1^2} - 1.$$

» L'obstacle pratique à la mise en œuvre de cette méthode se trouve dans la nécessité de disposer d'une différence de potentiels E , supérieure à la différence de potentiels aux bornes de l'appareil d'utilisation.

» L'emploi du transformateur décrit plus haut remédie à cet inconvénient puisqu'il donne une différence de potentiels en phase avec le courant. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Chaumat.

La Communication de M. ARNOUX, sur un *Indicateur de vitesse à distance*, paraîtra ultérieurement.

SUR LA NOMENCLATURE ÉLECTRIQUE ⁽¹⁾.

(A PROPOS DU CONGRÈS INTERNATIONAL D'ÉLECTRICITÉ DE SAINT-LOUIS.)

M. E. HOSPITALIER. — « Messieurs, malgré son importance, la question dont je vais avoir l'honneur de vous entretenir est de celles qui n'inspirent que peu de sympathies, laissent le plus grand nombre indifférent et ont même soulevé, aux âges héroïques de l'Électricité industrielle, de hautes hostilités, aujourd'hui heureusement apaisées.

» Les progrès si rapides de notre belle Science exigent cependant une terminologie de plus en plus précise; car avant de s'entendre il est nécessaire de se comprendre, et la confusion du langage a souvent pour conséquence directe la confusion des idées. Aussi n'est-il pas étonnant qu'à la veille de chaque Congrès international, un partisan convaincu de l'unification s'efforce, avec plus ou moins de succès, de secouer l'apathie générale, apathie cependant peu justifiée dans un pays qui, il y a un siècle, donnait au monde le système métrique, lequel, malgré ses imperfections, a servi de base, sinon de modèle, au système international d'unités C. G. S.

» Ce que nous voudrions voir réaliser peut se résumer en trois mots :

Conserver. Rejeter. Compléter.

» Nous voudrions voir conserver tout ce qui a été décidé par les Congrès antérieurs, de 1881 à 1900; nous voudrions voir rejeter tout ce qui n'est pas conforme à ces décisions et y porte une atteinte quelconque; nous voudrions enfin voir compléter l'œuvre des Congrès antérieurs par quelques vœux que nous énoncerons tout à l'heure et le Congrès international de Saint-Louis nous offre l'occasion la plus propice de leur obtenir, s'ils en sont dignes, une sanction internationale.

» En ce qui concerne la *conservation* des vœux et décisions des

(1) Durant cette Communication, le fauteuil de la Présidence est occupé par M. Desroziers, vice-président.

Congrès antérieurs, il nous paraît inutile d'insister. C'est un point sur lequel nous sommes certain à l'avance de rencontrer la presque unanimité des suffrages. Tous ceux qui ont suivi les Congrès internationaux savent trop combien il est difficile de bâtir pour avoir la moindre tentation de démolir sans savoir à l'avance comment ils reconstruiront.

» Les *rejets* que nous voudrions obtenir n'intéressent qu'indirectement le futur Congrès, en ce sens que son rôle principal serait, à la suite de ces répudiations de choses inexactement introduites dans la terminologie par un usage abusif et non sanctionné jusqu'ici, de fixer cette terminologie correcte et logique.

» Voici quelques-uns des points sur lesquels nous croyons intéressant d'appeler l'attention des délégués au Congrès de Saint-Louis.

» *Confusion entre les grandeurs et les unités.* — Dans la définition d'une *grandeur* physique il ne doit entrer que des grandeurs, et dans la définition d'une *unité* il ne doit entrer que des unités.

» Pour citer un exemple typique, la vitesse est le quotient d'une longueur par un temps, et l'unité de vitesse est le quotient de l'unité de longueur par l'unité de temps. Cette unité de vitesse change d'ailleurs avec le système d'unités, sans que la grandeur physique change elle-même. Il est donc irrationnel de dire que la vitesse est une longueur par seconde, aussi bien que de définir la puissance un travail par seconde, la résistivité une résistance par centimètre cube, l'induction magnétique un nombre de lignes de force par centimètre carré, la fréquence d'un courant alternatif le nombre de périodes par seconde, etc.

» *Expression correcte des grandeurs et des unités.* — Une grandeur physique doit renfermer dans sa définition les grandeurs dont elle dérive. Une unité physique doit également renfermer dans son expression les unités dont elle dérive.

» Il est, par suite, inexact d'exprimer, comme le fait l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, les accélérations en mètres (le mètre étant une unité de longueur et non une unité d'accélération ni de vitesse), alors qu'elles doivent être exprimées, à défaut d'un nom plus court,

en mètres par seconde par seconde, des puissances en kilogrammètres, des énergies en watts, etc. Abréviation, dans ce cas, est souvent synonyme de confusion.

» Nous voudrions aussi que l'on n'affectât jamais le nom d'une unité à la désignation d'une grandeur. Ainsi, par exemple, l'usage tend à prévaloir dans les ateliers et les usines de dire *voltage* pour force électromotrice ou différence de potentiel. Nous croyons qu'il serait bon de réagir contre cette tendance fâcheuse, qui nous a déjà conduit à l'*ampérage*, au *wattage*, au *tour par minute*, et qui justifierait alors, par le même procédé de formation, l'*ohmage*, l'*ampère-heurage*, le *coulombage*, le *faradage*, et — *horresco referens* — le *watt-heure-par-tonne-kilométrage*!

» *Abandon des unités empiriques non reliées au système métrique ou au système C.G.S.* — L'obstination avec laquelle les ingénieurs français emploient le cheval comme unité de puissance, alors qu'ils ont à leur disposition le poncelet de 100 kgm par seconde ou le kilowatt, n'a véritablement aucune raison ni aucune excuse. Quelques-uns poussent même le snobisme au point de le désigner par les lettres H. P., initiales du *horse-power*, alors que le cheval-vapeur et le horse-power valent respectivement 75 et 76 kgm par seconde. Au moment où l'Angleterre et surtout les États-Unis manifestent l'intention d'adopter le système métrique, et d'abandonner par suite le horse-power, c'est un bien triste exemple à leur donner, exemple suffisant pour justifier les résistances que rencontre la réforme projetée dans les pays de langue anglaise.

» *Symboles et abréviations.* — Les formules dans lesquelles se résument les grandeurs physiques comportent des symboles et des abréviations : les symboles représentant algébriquement les grandeurs, et les abréviations certaines relations qui, par elles-mêmes, n'ont pas d'expression numérique (fonction, différentielle, dérivée, sinus, cosinus, logarithme, etc.).

» Pour éviter toute confusion, nous voudrions que les lettres italiques, majuscules ou minuscules, fussent exclusivement réservées aux symboles, et les lettres romaines aux abréviations et aux désignations d'unités. Cette convention simple, d'une application

facile, est déjà adoptée par certains auteurs en France, en Allemagne et aux États-Unis. Nous voudrions la voir étendue à tous les ouvrages scientifiques, y compris les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*.

» Les Mémoires d'Ampère sur l'Electrodynamique comportaient tous le « d » (romain) comme abréviation de différentielle, et c'est par corruption typographique que cette notation ne s'est pas conservée.

» En utilisant la règle sans faire aucune exception on faciliterait certainement son application, qui deviendrait ainsi automatique.

» *Courants alternatifs*. — La terminologie des courants alternatifs est aujourd'hui à peu près fixée; mais quelques expressions nous paraissent inacceptables: nous voulons parler du courant watté et du courant déwatté, d'une part, et de la puissance sans watts (wattless-power), d'autre part.

» Il est déjà regrettable d'introduire des unités dans la définition d'une grandeur; mais lorsque la grandeur et l'unité sont contradictoires, comme dans le wattless-power, cela frise le ridicule.

» M. Mascart a proposé d'appeler $I \cos \varphi$ le *courant en phase* et $I \sin \varphi$ le *courant en quadrature*. M. Brunswick a proposé *courant actif* et *courant réactif*.

» Étant donnée l'introduction féconde du calcul des imaginaires dans l'étude des courants alternatifs, nous proposons de désigner par I le courant, sans épithète, que mesure un galvanomètre mis dans le circuit, et de donner à ses composantes les noms de *courant actif* ou *réel* pour $I \cos \varphi$ et de *courant imaginaire* pour $I \sin \varphi$.

» Avec cette terminologie nouvelle la puissance sans watts devient une puissance imaginaire, expression tout à fait mathématique et rationnelle.

» *Noms nouveaux*. — Nous connaissons tous la difficulté que l'on rencontre à faire adopter des noms nouveaux, même pour des choses nouvelles qui n'existaient pas auparavant, et cependant, il convient, pour éviter toute confusion, de donner un nom spécial et un seul, à toute chose différente d'une autre chose.

» En matière de grandeurs et d'unités physiques, on peut créer

facilement un grand nombre de noms nouveaux et étendre ainsi le vocabulaire technique en adoptant, pour la création de ces noms nouveaux, deux règles de formation que nous exposerons à propos des vœux à formuler.

» Pour les noms à donner aux unités d'un emploi usuel (ce sont d'ailleurs les seules pour lesquelles des noms soient nécessaires) nous pensons qu'il convient de réserver, à l'avenir, ces noms aux unités du système C.G.S., car c'est lui qui, par sa simplicité et sa logique, s'imposera exclusivement tôt ou tard aux savants et aux ingénieurs. Déjà un certain nombre de praticiens font la plupart de leurs calculs en unités C.G.S. et transforment ensuite les résultats en unités pratiques pour l'usine ou l'atelier.

» L'idée de donner la prédominance au système C.G.S. fait son chemin. Lorsque nous la défendîmes au Congrès de Genève en 1896, à propos des unités électromagnétiques, elle fut combattue par MM. Mascart et Blondel. Afin de réserver la question et la laisser entière pour des Congrès ultérieurs, nous dûmes nous replier en bon ordre en acceptant l'ordre du jour pur et simple.

» La proposition fut reprise, sous une forme un peu différente, en 1899, par M. Blondel, et plus récemment, en octobre 1903, par M. A.-E. Kennelly à l'*American Institute of Electrical Engineers*.

» Les noms proposés par M. Blondel sont d'allure un peu barbare : Galva (ni), Frank (lin), Thom (son), Poisson, Max (well), Helm (holtz), Arag (o).

» Dans une proposition un peu antérieure, M. Blondel adoptait, pour les unités C.G.S., le nom de l'unité pratique en le faisant précéder du préfixe *néo*.

» M. A.-E. Kennelly donne la préférence au préfixe *ab* pour les grandeurs et unités du système électromagnétique et *abs* pour les grandeurs et unités du système électrostatique, l's d'*abs* rappelant le mot *statique*, et la syllabe *ab* le mot *absolu*.

» Le préfixe proposé par M. Kennelly étant plus court et plus euphonique, en général, que celui proposé par M. Blondel, nous lui donnerions la préférence, mais sans y attacher, d'ailleurs, autrement d'importance, pourvu que les unités C.G.S. eussent des noms caractéristiques permettant de les distinguer des unités pratiques. Faisons remarquer en passant que les unités C.G.S. ont déjà comme noms :

le centimètre, le gramme, la seconde, la dyne, l'erg, le gauss et le maxwell, sans compter ceux que l'on peut former rationnellement en les prenant comme base. L'effort à faire n'est donc pas si grand qu'on pourrait le croire à la suite d'un examen superficiel. Aussi avons-nous la conviction qu'un pas en avant dans le sens de l'adoption de certains noms nouveaux pour les unités C.G.S. sera fait au Congrès de Saint-Louis en septembre prochain.

» Il nous reste à exposer le troisième point, celui qui a pour objet de *compléter* l'œuvre des Congrès antérieurs.

» Après les considérations qui précèdent, il nous suffira d'exposer nos propositions sous forme de vœux qui pourront ainsi se prêter plus facilement à l'examen et à la critique.

PROPOSITIONS DE VŒUX POUR LE CONGRÈS INTERNATIONAL DES ÉLECTRICIENS
DE SAINT-LOUIS (*septembre 1904*).

» *Définition des grandeurs et des unités.* — Qu'il n'entre que des grandeurs dans la définition d'une grandeur.

» Qu'il n'entre que des unités dans la définition d'une unité.

» Que chaque grandeur ait un nom spécial, et un seul, dérivant des grandeurs qui servent à la définir.

» Que chaque unité ait un nom spécial, ou un nom composé dérivé des unités qui servent à la former.

» Que les noms nouveaux d'unités ne soient plus donnés qu'aux unités du système C.G.S.

» Que les grandeurs dérivées nouvelles ne recevant pas de noms spéciaux soient formées d'après les règles suivantes :

» 1° *Une grandeur ou quantité physique définie comme le quotient de deux autres grandeurs prend pour nom celui de la grandeur dividende suivi du nom de la grandeur diviseur pris adjectivement.* Par exception à cette règle, certaines grandeurs dérivées conservent les noms spéciaux consacrés antérieurement par l'usage.

» 2° *Une grandeur physique définie comme le produit de deux autres grandeurs prend pour nom le nom composé formé par ces deux grandeurs réunies par un trait d'union, lorsque cette grandeur n'a pas reçu de nom spécial.*

» Ainsi la *force-longueur* est un travail, la *force-temps* une impulsion, la *masse-vitesse* une quantité de mouvement, etc.

» Que les adjectifs formés pour la définition de nouvelles grandeurs dérivées soient les suivants (sous réserves de noms meilleurs proposés ultérieurement) :

- » Pour la longueur : *linéaire* ;
- » Pour la surface : *surfactive* ou *sectionnelle* ;
- » Pour le volume : *volumique* ;
- » Pour la masse : *massique* ;
- » Pour le temps : *temporique* ou *chronique* ;
- » Pour la puissance : *puissancique* ;
- » Pour l'énergie ou le travail : *ergique* ou *ergétique*.

» *Symboles et abréviations*. — Que les symboles figurant dans les formules physiques soient imprimés en caractères italiques, rondes ou grecs.

» Que les abréviations et les unités soient imprimées en caractères romains.

» Que le Tableau de symboles et d'abréviations recommandé par la Chambre des délégués du Congrès des Électriciens de Chicago, en 1893, et imprimé en annexe des Comptes rendus de ce Congrès, soit révisé, complété et adopté comme Tableau de symboles et d'abréviations internationales pour les principales grandeurs et unités physiques et électriques.

SYMBOLES DES QUANTITÉS PHYSIQUES ET ABRÉVIATIONS D'UNITÉS

Recommandés par la Commission des Notations de la Chambre des Délégués du Congrès International des Électriciens de Chicago en 1893.

QUANTITÉS PHYSIQUES.	SYMBOLES.	ÉQUATIONS DE DÉFINITION.	DIMENSIONS DES QUANTITÉS PHYSIQUES.	NOMS DES UNITÉS C. G. S.	ABBREVIATIONS DES UNITÉS C. G. S.	UNITÉS PRATIQUES.	ABBREVIATIONS DES UNITÉS PRATIQUES.
Fondamentales.							
Longueur.....	L, l	"	L	Centimètre.	cm	Mètre.	m
Masse.....	M	"	M	Masse du gramme.	g	Masse du kilogramme.	kg
Temps.....	T, t	"	T	Seconde.	s	Minute, heure.	m; h
Géométriques.							
Surface.....	S, s	$S = L \cdot L$	L^2	Centimètre-carré.	cm ²	Mètre-carré.	m ²
Volume.....	V	$V = L \cdot L \cdot L$	L^3	Centimètre-cube.	cm ³	Mètre-cube.	m ³
Angle.....	α, β	$\alpha = \frac{\text{arc}}{\text{rayon}}$	Un nombre	Radian.	"	Degré, minute, seconde, grade.	"
Mécaniques.							
Vitesse.....	v	$v = \frac{L}{T}$	LT^{-1}	Centimètre par seconde.	cm. s	Mètre par seconde.	m. s
Vitesse angulaire.....	ω	$\omega = \frac{v}{L}$	T^{-1}	Radian par seconde.	"	Tour par minute.	t. m
Accélération.....	a	$a = \frac{v}{T}$	LT^{-2}	Centimètre par seconde par seconde.	cm. s ²	Mètre par seconde par seconde.	m. s ²
Force.....	F	$F = M \cdot a$	$LM T^{-2}$	Dyne.	dyne	Gramme; kilogramme.	g; kg
Energie ou travail (<i>Work</i>).....	W	$W = F \cdot L$	$L^2 M T^{-2}$	Erg.	erg	Kilogrammètre.	kgm
Puissance.....	P	$P = \frac{W}{T}$	$L^2 M T^{-3}$	Erg par seconde	erg. s	Kilogrammètre par seconde.	kgm. s
Pression.....	p	$p = \frac{F}{S}$	$L^{-1} M T^{-2}$	Dyne par centimètre-carré.	dyne. cm ²	Kilogramme par centimètre-carré.	kg. cm ²
Moment d'inertie.....	K	$M \cdot L^2$	$L^2 M$	Gramme-masse-centimètre-carré.	g-cm ²		
Magnétiques.							
Intensité de pôle.....	m	$F = \frac{m^2}{L^2}$	$\frac{M^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}}{L^2 M^{\frac{1}{2}} T^{-1}}$	"	"		
Moment magnétique.....	$\mathfrak{M}$	$\mathfrak{M} = ml$	$\frac{L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}}{L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}}$	"	"		

Flux de force magnétique	Φ	$L^2 M^2 T^{-1}$	Maxwell.			
Induction magnétique	$\mathfrak{H}$	$L^{-1} M^2 T^{-1}$	Gauss.			
Perméabilité (magnétique)	μ	Un nombre	"			
Susceptibilité (magnétique)	χ	Un nombre	"			
Reluctivité (magnétique)	ν	Un nombre	"			
Reluctance (Résist. magnét.)	$\mathcal{R}$	L^{-1}	"			
Electromagnétiques.						
Résistance	R, r	$L T^{-1}$	"	Pas d'abréviations.	Pas d'unités p	
Conductance	G	$L^{-1} T$	"			ohm
Force électromotrice	$\mathcal{E}, e$	$L^2 M^2 T^{-2}$	"			mho
Différence de potentiel	U, u	—	"			v
Intensité de courant	I, i	$L^2 M^2 T^{-1}$	"			v
Quantité d'électricité	Q, q	$L^2 M^2 T^{-1}$	"			A
Capacité	C, c	$L^{-1} T^2$	"			c; A-h
Énergie électrique	W	$L^2 M^2 T^{-2}$	Erg.			v
Puissance électrique	P	$L^2 M^2 T^{-3}$	Erg par seconde.			J; w-h Watt; kilowatt
Résistivité	ρ	$L^2 T^{-1}$	"			ohm-cm
Conductibilité	γ	$L^{-2} T$	"			"
Coefficient d'induction	L, l	L	Centimètre.			"
Force magnétisante	$\mathcal{H}$	$L^{-1} M^2 T^{-1}$	Gauss.			"
Force magnétomotrice	$\mathcal{F}$	$L^2 M^2 T^{-1}$	"			A-t

» *Terminologie des courants alternatifs.* — Que les composantes d'un courant alternatif efficace I portent respectivement les noms de

courant actif, pour la composante $I \cos \varphi$,
courant imaginaire, pour la composante $I \sin \varphi$.

» Que les composantes correspondantes de la puissance apparente $P_{\text{app}} = UI$ prennent les noms respectifs de

puissance active, pour la composante $UI \cos \varphi$,
puissance imaginaire, pour la composante $UI \sin \varphi$.

» Que le nom de *décalage* soit réservé à un angle dans le plan, et le nom de *déphasage* à une fraction de la période comprise entre deux époques.

» (Ces propositions seront développées ou réduites, s'il y a lieu, après discussion.) »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Hospitalier.

La séance est levée à 11^h du soir.

PÉRIODIQUES ETRANGERS.

MÉMOIRES ORIGINAUX.

ALLEMAGNE.

Elektrotechnische Zeitschrift.

12/11. Choix des diamètres des rotors dans les moteurs d'induction; *H. Hobart*. — Théorie du moteur série compensé; *M. Osnos*. — Dépôts galvaniques de zinc sur le fer; *O. Cabran*. — Essais de Marienfeld-Zössen.

19/11. Égalisation de la charge des moteurs asynchrones pour travail intermittent; *H. Linsenmann*. — Recherches sur les pulsations du courant délivré par les commutatrices; *E. Cramer*. — Nouveau détecteur pour télégraphie sans fil; *W. Schlömilch*.

26/11. Calcul graphique du diagramme d'Osanna; *A. Thomälen*. — Montage des compteurs pour réseaux triphasés à fil neutre; *G. Stern*. — Améliorations aux appareils de compensation; *R. Franke*.

3/12. Nouvelle machine pour la charge des fours à réverbère; *W. Küppers*. — Mesure du facteur de forme; *P. Rose* et *A. Kühms*. — Influence de la forme des courbes dans la méthode des deux wattmètres; *L. Bloch*.

10/12. La règle de multiplication pour les mesures de longueur d'onde en télégraphie sans fil; *A. Slaby*. — Moteur monophasé sans collecteur, démarreur sous charge; *M. Corsepius*. — Exploitation de la traction électrique sans rails; *M. Schiemann*.

17/12. Traction par courants monophasés avec réglage de la vitesse et récupération; *M. Latour*. — Constantes électriques des isolateurs à haute tension, *R. Friese*. — Téléphonie et télégraphie Hughes simultanées sur ligne à deux fils; *H. Pfitzner*. — Nouvel alternateur avec excitation directe par le courant alternatif; *A. Heyland*.

24/12. Nouvel appareil pour mesurer le glissement; *A. Bianchi*. — Statistique des usines électriques d'Allemagne.

31/12. Théorie de la commutation; *K. Pichelmayer*. — Mesure de l'isolement des liquides; *P. Humann*. — Touage électrique sur le canal de Teltow. — Essais de Marienfelde-Zoessen.

7/1. Moteurs à commutateurs pour courants alternatifs; *M. Osnos*. — Mesures d'isolement des fils de trolley; *H. Mörk*. — Loi de la rupture des diélectriques; *C. Baur*.

14/1. Moteurs... (*fn*); *M. Osnos*. — Pertes dans le cuivre et effet utile des génératrices mixtes; *F. Horschütz*.

21/1. Sur la lampe à osmium; *L. Lombardi*. — Exactitude des appareils à résonance Hartmann-Braun; *R. Hartmann-Kempff*.

28/1. Voiture de mesures des tramways de Berlin; *E. Björkegren*. — Moteurs alternatifs à collecteur et le réglage de leur vitesse; *F. Eichberg*.

4/2. Installations électriques des ateliers de Linz; *R. Dub* et *E. Suchy*. — Maximum relatif de l'intensité dans les lampes à arc continu; *E. Richter*. — Disposition pour assurer le fonctionnement régulier du microphone; *Stosberg*. — Des tuyaux de descente comme conducteurs de paratonnerre; *F. Neesen*.

11/2. Les chemins de fer électriques en Italie; *P. Laveno*. — Calcul de la capacité des conducteurs aériens et des câbles; *L. Lichtenstein*.

Zeitschrift für Elektrotechnik und Maschinenbau.

1/12. Détermination du moment d'inertie d'un induct; *B. Böhm-Raffay*.

16/12. L'électricité à la campagne; *G. Sattler*. — Pendules électriques; *S. Herzog*. — Nouvelles dynamos Schumann.

2/1. Usine Altbach-Deizisau sur le Neckar; *I. Herzog*. — Moteur triphasé ou moteur en série pour la traction; *R. Schreiber*.

16/2. Étude du ralentissement naturel d'un moteur en dérivation, et méthode générale de détermination des moments d'inertie; *W. Nefstel*.

Central Blatt für Accumulatoren und Elementenkunde.

1/11. Études sur la formation électrolytique du peroxyde de plomb (*suite*); *A. Rokotnitz*.

15/11. Études... (*suite*); *A. Rokotnitz*.

1/12. Formation électrolytique du bioxyde de plomb (*suite*); *F. Peters*.

15/12. Formation... (*suite*); *F. Peters*.

1/1; 15/1, 1/2, et 15/2. Suites de cet article.

AMÉRIQUE.

Electrical World and Engineer.

7/11. Transmission de l'Hudson river (*fin*). — Conduite électrique des machines-outils; *R. Lozier*. — Pompes des mines de Gneisenau.

14/11. Distribution du courant dans les systèmes triphasés; *H. Jeannin*. — Calcul de l'inductance apparente des bobines d'induit; *C. Hawkins*. — De la sécurité relative de la télégraphie sans fil et de la télégraphie ordinaire; *R. Fessenden*. — Méthodes d'essais des alternateurs à pleine charge (*fin*); *B. Behrend*. — Appareil à lecture directe pour les mesures de conductibilité; *W. Hoopes*.

21/11. Usine hydro-électrique de Chateaugay. — Fusion du verglas sur le troisième rail; *W. Del-Mar*. — Nouveaux brevets de télégraphie Fessenden; *A. Collins*. — Calcul... (*suite*); *C. Hawkins*.

28/11. Calcul... (*suite*); *C. Hawkins*. — Essais d'alternateurs à pleine charge; *W. Waters*.

5/12. Méthodes de travail dans les bureaux téléphoniques; *K. Miller* et *C. Winston*. — Calcul... (*suite*); *C. Hawkins*. — Transmetteurs téléphoniques; *A. Abbott*.

12/12. Calcul... (*fin*); *C. Hawkins*. — Conduite électrique des moteurs; *F. Kleinhaus*. — Méthodes... (*suite*); *K. Miller* et *C. Winston*. — Traction interurbaine; *P. Lincoln*.

19/12. Conductibilité de la vapeur de mercure; *P. Cooper Hewitt*. -- Stations allemandes avec moteurs à gaz.

26/12. Montréal : le plus grand centre de transmission (*fin*); *A. Adams*. — Application du courant monophasé à la traction; *B. Lamme*. — Transmetteurs téléphoniques (*suite*); *A. Abbott*. — Distribution aérienne à haute tension dans les faubourgs; *G. Lukes*.

2/1. Installations électriques de l'imprimerie du Gouvernement. — Essais des grands alternateurs; *W. Burnand*. — Protection contre la foudre et les hautes tensions; *H. Sargent*. — Système électropneumatique Arnold employé sur le chemin de fer Lansing-Saint-Louis; *B. Arnold*. — Méthodes... (*suite*); *K. Müller* et *C. Winston*. — Transmetteurs téléphoniques (*suite*); *A. Abbott*. — Influence de la télégraphie sans fil sur les progrès de la télégraphie ordinaire; *J. Baker*.

9/1. Installations... (*suite*). — Transmetteurs... (*suite*); *A. Abbott*. — Calcul des rhéostats de démarrage; *A. Ford*.

16/1. Installations... (*fin*). — Revue critique de l'électrostriction; *L. More*. — Mesure de l'intensité par le voltamètre à cuivre; *J. Dickson*. — Mise à la terre du fil neutre; *R. Hale*. — Méthodes... (*suite*); *K. Miller* et *C. Winston*. — Transmetteurs téléphoniques; *A. Abbott*. — Système de radiotélégraphie de Blockmann; *A. Collins*.

23/1. Méthode pour photographier la forme du courant; *C. Spencer*. — Choix de l'entrefer des moteurs d'induction; *H. Hobart*.

30/1. Pendule de Foucault électrique; *E. Adams*. — Détermination théorique des courbes de puissance; *W. Berry*.

Journal of the Franklin Institute.

DÉCEMBRE. — Décharges statiques dans les circuits; *P. Thomas*. — Connections pour rails; *W. Harrington*.

JANVIER et FÉVRIER. — Connections... (*suite*); *W. Harrington*.

Transactions of the American Institute of Electrical Engineers.

OCTOBRE. — Facteurs qui affectent les pertes d'énergie dans le fer des inducts; *J. Esterline* et *C. Reed*. — Économies dans les stations centrales; *W. Goldsborough* et *P. Fansler*. — Équipement électrique d'une drague à alluvions aurifères; *R. Montagu*. — Unités magnétiques et autres sujets à soumettre au Congrès de Saint-Louis; *A. Kennelly*. — Indicateur cathodique de la forme des courants; *H. Ryan*. — Notes sur quelques questions d'extraction à Witwaterstrand; *A. Peirce*. — Moteurs pour pompes centrifuges et ventilateurs; *A. Bowie*.

NOVEMBRE. — Conditions qui déterminent l'élévation de température des moteurs; *C. Hutchinson*. — Ampèremètre enregistreur; *A. Armstrong*. — Conductibilité du cuivre commercial; *L. Addicks*. — Comparaison entre le fonctionnement des batteries-tampons avec ou sans survolteur; *L. Lyndon*.

ANGLETERRE.

The Electrician.

13/11. Mesures des fréquences élevées; *W. Salomonson*. — Radioactivité... (*suite*); *F. Soddy*. — Statistiques relatives à l'industrie électrique (*suite*); *W. Digby*.

20/11. Radioactivité... (*suite*); *F. Soddy*. — Production du fer et de l'acier au four électrique; *H. Goldschmidt*. — Brevets récents de télégraphie sans fil (*fin*).

27/11. Radioactivité... (*suite*); *F. Soddy*. — Sur les transmetteurs pour télégraphie sans fil; *L. de Forest*. — Accumulateur Edison; *W. Hibbert*. — Essais calorimétriques des dynamos; *R. Threlfall*. — Statistiques... (*fin*); *W. Digby*.

4/12. Système de Forest de télégraphie sans fil. — Radioactivité... (*suite*); *F. Soddy*.

11/12. Radioactivité... (*suite*); *F. Soddy*. — Chargement mécanique des grilles; *A. Gray*.

18/12. Radioactivité... (*suite*); *F. Soddy*. — Traction par courants alternatifs; *A. Eborall*. — Modes de paiement de l'énergie électrique; *E. Crapper*.

23/12. Problème concernant la traction électrique à grande vitesse; *A. Armstrong*. Traction... (*fin*); *A. Eborall*. — Radioactivité... (*suite*); *F. Soddy*. — Résultats d'exploitation du *City and South. Railway*.

1/1. Radioactivité... (*suite*); *F. Soddy*. — Expériences sur les courants parasites; *W. Thornton*. — Choix et installation d'interrupteurs à haute tension; *L. Elden*.

8/1. Radioactivité... (*suite*); *F. Soddy*. — Conductibilité de la vapeur de mercure; *P. Cooper Hewitt*. — Expériences... (*fin*); *W. Thornton*.

15/1. Essais de grands alternateurs; *W. Burnand*. — Interrupteur d'urgence pour stations centrales; *W. Thornton*. — Radioactivité... (*suite*); *F. Soddy*. — Nouveau potentiomètre; *W. Fisher*.

22/1. Radioactivité... (*suite*); *F. Soddy*. — De la dispersion dans les moteurs d'induction et de son influence sur leurs dimensions; *H. Behn Eschenburg*. — Consommation de charbon dans les stations centrales; *A. Giles*. — Exploitation triphasée, spécialement suivant le système de Dublin; *W. Brew*.

29/1. Radioactivité... (*suite*); *F. Soddy*. — Estimation des tramways; *W. Bond*.

5/2. Courants parasites dans les dynamos; *M. Field*. — Système de traction électropneumatique à courant alternatif; *B. Arnold*. — Radioactivité... (*suite*); *F. Soddy*. Exploitation... (*suite*); *W. Brew*.

12/2. Rendement et couleur de la lampe à osmium; *F. Baily*. — De la dispersion... (*suite*); *H. Behn Eschenburg*. — Exploitation... (*fin*); *W. Brew*.

Electrical Review.

13/11. Moteurs à courant alternatif pour traction; *L. Fenzi*. — Notes sur la théorie de la marche en parallèle; *H. Leake*.

20/11. Construction des dynamos; *A. Fynn*. — Résistance à la traction sur routes; *Comité de la B. A.*

27/11. Constructions... (*suite*); *A. Fynn*.

4/12. Constructions... (*suite*); *A. Fynn*.

11/12. Résistance... (*suite*); *Comité de la B. A.* — Conduite des machines dans les stations d'éclairage; *F. Callis*.

18/12. Utilisation des eaux de condensation; *G. Parkinson*. — Résistance... (*fin*); *Comité de la B. A.* — Conduite... (*fin*); *F. Callis*.

23/12. Deux nouvelles formes de cuves électrolytiques pour hypochlorites; *J. Kershaw*. — Construction des interrupteurs; *N. Woodfin*. — Construction... (*suite*); *A. Fynn*.

1/1. Construction... (*suite*); *A. Fynn*. — Localisation des défauts dans l'âme des

câbles; *H. Olson*. — Distribution de la lumière des lampes à incandescence; *W. Lancetot*. — Nouveau compteur à double tarif; *E. Shoults*.

8/1. Chariot porte-bobines pour tramways; *L. Harvey*. — Construction... (*suite*); *A. Fynn*. — Localisation des défauts dans les câbles sous-marins; *A. Davidson*.

15/1. Construction... (*suite*); *A. Fynn*.

22/1. Construction... (*fin*); *A. Fynn*. — Alternateurs à force électromotrice sinusoïdale; *C. Paterson*.

5/2. Diagramme circulaire du moteur à répulsion; *F. Creedy*. — Progrès de l'électrochimie et de l'électrometallurgie; *J. Kershaw*.

Journal of the Institution of Electrical Engineers.

JANVIER. — Essais des génératrices par calorimétrie; *R. Threlfall*. — Accumulateur Edison; *W. Hibbert*. — Ondographe et puissancegraphe; *E. Hospitalier*.

AUTRICHE.

Zeitschrift für Elektrotechnik.

15/11. Diagramme du travail dans un circuit; *J. Lacour*.

22/11. Moteurs électriques pour chemins de fer; *J. Szasz*. — Condensateur électrodynamique; *J. Seidener*.

29/11. Couplage des dynamos à courant continu et des turbines à vapeur; *M. Zinner*. — Dimensions des encoches d'induit; *A. Muller*. — Appareils de sécurité pour machines d'extraction.

6/12. Contrôle des trains électriques (unités multiples); *F. Niethammer*.

13/12. Contrôle... (*fin*); *F. Niethammer*.

20/12. Nouveaux procédés de réglage pour moteurs à courant continu; *J. Löwy*.

27/12. Moteur série à courant alternatif; *M. Osnos*. — Monte-charges de la gare de Reichenberg; *W. Krejza*.

3/1. Sur la commutation; *K. Pichelmayer*. — Montage des compteurs.

10/1. Régulateur compensé de potentiel pour courant alternatif; *L. Fleischmann* et *F. Eichberg*.

17/1. Rhéostats à liquide; *F. Niethammer*. — Fabrication des câbles téléphoniques à isolement d'air; *I. Schmielt*.

24/1. Pertes par courants parasites; *F. Niethammer*. — Pôles auxiliaires pour machines à courant continu; *F. Punga*.

31/1. Emploi du diagramme circulaire dans les alternateurs; *J. Puluj*. — Résistances, self-inductions et capacités en parallèle; *E. Müllendorff*.

7/2. Emploi... (*fin*); *J. Puluj*. — Turbodynamos; *F. Niethammer*.

14/2. Turbodynamos (*fin*); *F. Niethammer*. — Théorie du moteur à répulsion d'Atkinson; *M. Osnos*.



BIBLIOGRAPHIE.

Législation des chutes d'eau : *Sources, rivières, cours d'eau non navigables*, par M. P. BOUGAULT, avocat à la Cour d'appel de Lyon. 2^e édition, entièrement refondue et augmentée. 1 vol. grand in-8° de près de 300 pages. A. Gratier et J. Rey, éditeurs, Grenoble, 1904.

La première édition ⁽¹⁾ de cet Ouvrage de la collection *Au pays de la houille blanche* a été promptement épuisée. La législation des chutes d'eau étant devenue une question *brûlante* et ayant été modifiée récemment, il était indispensable de refondre entièrement l'édition primitive.

Dans cette seconde édition, M. P. Bougault s'occupe successivement des droits des propriétaires de sources, des restrictions, des expropriations. Il expose la loi de 1902 et ses applications aux cours d'eau, aux conflits entre riverains, à la jurisprudence. Viennent ensuite des Chapitres consacrés aux formalités administratives, aux riverains propriétaires du lit, à la loi d'avril 1898, au bornage et à la circulation, aux conflits entre industriels et pêcheurs, aux échelles à poissons.

L'auteur termine en exposant les nouveaux textes proposés pour les lois et règlements futurs. Ces textes sont inspirés par l'idée de favoriser autant que possible les entreprises de captation de chutes d'eau.

Spécialement destiné aux usines hydro-électriques et aux agriculteurs, cet Ouvrage rendra les plus grands services aux praticiens qui y trouveront la solution de leurs difficultés.

Leçons d'Électricité industrielle, t. II, 1^{er} fascicule, par M. J. PRONCHON, directeur de l'Institut électrotechnique de l'Université de Grenoble. 1 vol. grand in-8° de 268 pages. A. Gratier et J. Rey, éditeurs, Grenoble.

Les *Leçons* présentées aujourd'hui font suite à celles dont le *Bulletin* a rendu compte précédemment ⁽²⁾, et vont de la vingt-quatrième à la trente-huitième.

L'auteur et les éditeurs ont décidé, pour donner satisfaction à un grand nombre de souscripteurs, de faire paraître dès maintenant la partie du Tome II dont l'impression était achevée.

Cette Partie est relative à l'induction magnétique et à l'induction électromagnétique.

Le complément du Tome II comprendra l'alterné-électrocinétique, l'alterné-électromagnétisme, l'alterné-électrothermie et l'électro-énergétique. Il doit paraître prochainement.

Ce complément est attendu avec d'autant plus d'impatience qu'il donnera la Table des matières du Volume complet. En attendant, il eût été commode, pour le lecteur, de trouver à la fin du présent fascicule une Table provisoire.

⁽¹⁾ Voir *Bulletin*, 1902, p. 622.

⁽²⁾ Voir *Bulletin*, 1902, p. 631.

La clarté d'exposition de l'auteur n'est plus à faire remarquer, elle est suffisamment connue et appréciée. On ne peut que se féliciter d'avoir à recommander des *Traité*s aussi bons que celui-ci.

Les chemins de fer électriques, par M. H. MARÉCHAL, Ingénieur des Ponts et Chaussées. 1 vol. format 16 × 23, de 600 pages avec 516 figures dans le texte. Ch. Béranger, éditeur, Paris, 1904.

L'auteur, ayant déjà publié un Ouvrage sur les tramways électriques, ne pouvait mieux faire que de le faire suivre par celui-ci. On est seulement surpris que la matière soit devenue si rapidement assez abondante pour permettre une si importante publication. La raison en est dans le développement inattendu des applications de l'électricité à la traction en général et sur les chemins de fer en particulier.

Dans les onze Chapitres du présent Volume, l'auteur étudie successivement : les dispositions générales des chemins de fer électriques, en envisageant la traction par locomotives et par voitures automotrices ainsi que la nature du courant employé; la production de l'électricité dans le cas de la traction des chemins de fer; la voie et ses éclissages mécaniques et électriques; la distribution du courant le long des voies; l'alimentation des lignes de distribution; les moteurs électriques pour chemins de fer; la traction proprement dite (résistances et efforts); les automotrices électriques avec les divers systèmes d'unités multiples; les locomotives électriques, pour trains légers, pour trains lourds, pour trains à très grande vitesse, etc.

Dans le Chapitre X sont décrits les divers chemins de fer électriques actuellement en fonctionnement. Le dernier Chapitre est plus spécialement consacré à l'exploitation proprement dite et à l'exposé des dépenses y relatives ainsi qu'à celles de premier établissement.

En résumé, très intéressant Ouvrage de fond, présentant la question de la traction électrique sur les chemins de fer avec autant de méthode que de compétence; en même temps, premier Ouvrage paru en France sur la traction électrique des chemins de fer exclusivement.

Contrôle des installations électriques au point de vue de la sécurité, par M. A. MONMERQUÉ, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef du contrôle de l'exploitation technique des Chemins de fer. 2^e édition, revue et augmentée, 1 vol. in-8° contenant 227 figures. Ch. Béranger, éditeur, Paris, 1904.

La première édition de cet Ouvrage (1896) a été rapidement épuisée, c'est assez dire son grand succès. Une seconde édition s'imposait depuis quelque temps, en présence surtout des nombreuses demandes adressées à l'éditeur. Les multiples occupations de l'auteur ont retardé l'apparition du Volume actuel, mais ce retard aura été un mal pour un bien, car il a permis à M. Monmerqué de faire profiter ses lecteurs des derniers perfectionnements connus en la matière, et de compléter plus particulièrement les Chapitres relatifs aux distributions d'énergie, à la traction électrique, aux courants polyphasés, aux règlements administratifs, etc.

Cette seconde édition contient près de 200 pages de plus que sa devancière et, malgré un texte typographiquement très serré et un style extrêmement concis, ce n'était pas trop pour satisfaire aux exigences des remaniements et des extensions.

Les quatorze Chapitres de l'Ouvrage ne peuvent être passés en revue ici, étant donnée l'abondance des matières qu'ils traitent. Nous nous contenterons de signaler les grandes divisions de l'Ouvrage : Courant électrique; production et distribution de l'énergie; mesures; effets dangereux des courants; contrôle à l'usine; contrôle du réseau, des installations intérieures et des installations spéciales; résultats d'exploitation; règlements français et étrangers.

A ce dernier point de vue, la seconde édition contient les règlements les plus récents des Ministères des Travaux publics, du Commerce, de l'Industrie, des Postes et Télégraphes, etc., en même temps que les nouveaux règlements parus à l'étranger. et émanant, soit d'administrations publiques, soit de sociétés privées.

Plus de 200 pages sont consacrées à cette seule et importante partie du contrôle.

Diagrammes et surfaces thermodynamiques, par J.-W. GIBBS.

Traduction de M. G. ROY. 1 vol. (de la série *Scientia*). Paris, C. Naud.

De 1873 à 1878 M. Gibbs a publié, dans les *Transactions of the Connecticut Academy*, trois Mémoires originaux sur la représentation géométrique des phénomènes thermodynamiques par des diagrammes et par des surfaces.

Ainsi que l'expose dans son introduction M. B. Brunhes, professeur à l'Université de Clermont, l'Ouvrage de M. Roy est la traduction des deux premiers de ces Mémoires, dont il rendra plus familières aux lecteurs français les idées si fécondes pour l'étude des réactions dans les moteurs thermiques.

Le premier Mémoire a pour titre : *Méthodes graphiques dans la Thermodynamique des fluides*; son but est d'attirer l'attention sur des diagrammes différents qui sont supérieurs, dans bien des cas, en clarté et en commodité. Le second, *Méthode de représentation géométrique des propriétés thermodynamiques des corps par des surfaces*, montre que ces propriétés peuvent être déduites de la relation unique qui existe pour la substance considérée entre le volume, l'énergie et l'entropie.

Congrès de la Houille blanche, tenu du 7 au 13 septembre 1902 à Grenoble, Annecy et Chamonix. Compte rendu des travaux du Congrès, des visites industrielles et des excursions. 2 volumes 17 × 27 de chacun plus de 600 pages, et de nombreuses figures et gravures. Grenoble, 1903.

Ces deux magnifiques Volumes resteront comme un monument impérissable de ce fameux Congrès de la Houille blanche dont on a tant parlé, et qui fut si réussi en tous points. Le syndicat des propriétaires et industriels possédant ou exploitant des forces motrices hydrauliques a été heureusement inspiré en couronnant son œuvre si féconde par la présente publication dont nous allons donner un aperçu sommaire.

Le premier Volume rappelle tout d'abord le programme du Congrès et fait connaître la liste des membres y ayant participé. On y trouve ensuite le compte rendu des séances plénières tenues à Grenoble, à Annecy et à Chamonix, puis les procès-verbaux des séances des deux sections technique et économique. Les premières intéressent plus particulièrement les hydrauliciens et les électriciens. Dix-neuf sujets ont été développés dans les séances techniques. Ceux d'ordre électrique étaient les suivants : Installations électriques en général (M. Picou). — Sur l'isolement des lignes de haute tension et sur l'emploi du retour par la terre des courants de transport d'énergie

(M. Thury). — Sur l'Ondographe de M. Hospita'ier (M. le commandant Audebrand) — Sur les transformateurs de courants alternatifs en courant continu (M. Faget). — Sur le calcul rapide des conducteurs aériens au moyen d'un seul abaque (M. Blondel). — Sur le transport électrique de la force (M. Boissonnas). — Sur l'industrie électrochimique française (M. H. Gall). — Sur l'éclairage (M. Godinet). — Sur la traction électrique (M. J. Petit).

Toutes ces Communications ont excité le plus vif intérêt et n'ont guère été publiées ailleurs que dans l'Ouvrage actuel.

Dans le second Volume sont relatées les excursions et les visites d'usines.

Des Notices avec vues, plans, croquis, rendent ces dernières plus particulièrement intéressantes pour ceux qui ont eu l'avantage d'y assister.

Ces Notices seront d'une lecture agréable et profitable pour les personnes n'ayant pu suivre les travaux du Congrès.

La relation des excursions est des plus attrayante, écrite dans le style humoristique d'un véritable journal de voyage d'agrément. De nombreuses photographies des sites du pays augmentent le charme de cette relation.

On trouvera à la fin du second Volume une Notice spécialement consacrée à l'Institut électrotechnique de Grenoble; elle fait connaître l'organisation de cet Institut, les études qui s'y poursuivent et les travaux qu'on y exécute.

En résumé, magnifique collection que les congressistes seront heureux de conserver et que d'autres feront bien de tâcher de se procurer.

Leçons d'Électrotechnique générale professées à l'École supérieure d'électricité,
par M. P. JANET, professeur à la Faculté des sciences de l'Université de Paris,
Directeur du Laboratoire central de l'École supérieure d'Électricité, 2^e édition, revue
et augmentée. Tome I : *Généralités. Courants continus.*

Il est des Ouvrages dont la notoriété et la valeur dispenseraient d'une analyse; les *Leçons d'Électrotechnique générale* si magistralement professées à l'École supérieure d'Électricité par M. Janet rentrent bien dans cette catégorie. Toutefois l'apparition d'une seconde édition, aussi considérablement accrue et remaniée que celle que nous donne l'auteur, mérite d'être signalée particulièrement à l'attention de tous ceux qui s'intéressent au perfectionnement des moyens d'étude ainsi qu'à la clarté d'exposition des principes généraux de l'électricité industrielle.

L'abondance des matières nouvelles, le développement des méthodes de calcul de jour en jour plus précises ont conduit M. Janet à diviser ses *Leçons d'Électrotechnique* en deux parties, dont la première, dont nous nous occupons ici, est réservée aux *Généralités* et aux *Courants continus*.

Nous signalerons particulièrement l'extension donnée au traitement du circuit magnétique des machines, au calcul préalable des caractéristiques conformément aux méthodes de MM. Potier, Picou et autres ainsi que les Chapitres traitant de la commutation.

L'ensemble de l'Ouvrage, est-il besoin de le rappeler, reste le type parfait d'un enseignement général et précis permettant d'aborder avec fruit l'étude d'une partie quelconque de la Technique électrique, comme l'indiquait l'auteur dans la préface de la première édition.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

France.

- Annuaire technique. Formulaire aide-mémoire général des Sciences, de l'Industrie et des Travaux publics*, rédigé par un Comité d'Ingénieurs, Architectes, Constructeurs, Industriels et Jurisconsultes, sous la direction de M. H. RODIER. Rédaction et Administration : 64, rue de la Victoire, Paris. Premier fascicule (*Accumulateur électrique*), une brochure grand in-4° (fig.). (*Don de l'Auteur.*)
- Du choix d'une carrière industrielle*, par M. Paul BLANCARNOUX. Préface de M. Paul ADAM. Paris, veuve Ch. Dunod, 1904; un Volume in-8, broché. (*Don de l'Éditeur.*)
- Électricité (L') et ses applications. II^e Partie. Les machines d'induction*, par M. A. REBOUD. Paris, Ch. Béranger, 1903; un Volume in-8, relié toile (190 figures dans le texte). (*Don de l'Éditeur.*)
- Essais des métaux. Théorie et pratique*, par M. L. GAGES. Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^{ie}, s. d. [1904]; un Volume in-16, broché (fig.) (*Encyclopédie des Aide-mémoire*). (*Don de M. Gauthier-Villars.*)
- Les câbles sous-marins. Travaux sur mer*, par M. Alfred GAY. Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^{ie}, s. d. [1904]; un Volume in-16, broché (*Encyclopédie des Aide-mémoire*). (*Don de M. Gauthier-Villars.*)
- Manuel pratique du monteur électricien*, par M. J. LAFFARGUE. Septième édition. Paris, B. Tignol, s. d. [1904]; un Volume in-16, cartonné toile (fig. et 9 planches hors texte). (*Don de l'Auteur.*)
- Phénomènes fondamentaux et principales applications du courant alternatif*, par M. R. SWYNGEDAUX. Paris, veuve Ch. Dunod; un Volume in-8, broché (62 figures et 3 planches). (*Don de l'Éditeur.*)
- Technique (La) des courants alternatifs à l'usage des électriciens, contre-maîtres, monteurs, etc.*, par M. Giuseppe SARTORI. Traduit de l'italien par M. J.-A. MONTPELLIER. Tome I : *Exposé élémentaire et pratique des phénomènes du courant alternatif*. Paris, veuve Ch. Dunod, un Volume in-8, broché (200 figures). (*Don de l'Éditeur.*)
-

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ANNUELLE, p. 213. — Rapport de la Commission des Comptes (M. **Brunswick**), p. 214. — Rapport du Comité d'administration (M. **Grosselin**), p. 217. — Délibération relative à la concession de nouveaux terrains; acte de réalisation, p. 219.

Discussion sur la nomenclature électrique (MM. **Lauriol**, **Boucherot**, **Brylinski**, **Tripier**, **R. Arnoux**, **P. Janet** et **E. Hospitalier**), p. 223 et suivantes. — Étude du primaire de la bobine d'induction au moyen de l'ondographe Hospitalier (M. **Broca**), p. 235. — Résultats des élections, p. 241.

SITUATION FINANCIÈRE ET BILAN au 31 décembre 1904, p. 244.

BIBLIOGRAPHIE, p. 248.

OUVRAGES OFFERTS, p. 252.

COMPTE RENDU

DE

L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ANNUELLE

ET DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 13 avril 1904 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. E. HOSPITALIER.

La séance est ouverte à 8^h35^m du soir et le procès-verbal de la dernière Réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts (*voir* p. 252) et des demandes d'admission suivantes :

(¹) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MM.

Castro Guimaraes (Wladimir de), Attaché au *Laboratoire de M. Henri Menier*; 40, rue Greuze, à Paris. — Présenté par MM. H. Menier et Détroyat.

Coze (André), Directeur de la *Société anonyme d'Éclairage et de Chauffage par le gaz de la ville de Reims*, Administrateur de la *Société anonyme des Usines à Gaz du Nord et de l'Est*, Vice-Président du *Syndicat professionnel de l'Industrie du Gaz*; 10, rue du Grenier-à-Sel, à Reims (Marne). — Présenté par MM. Victor et Viénot.

Henrion (Léon), Sous-Lieutenant du Génie, Bataillon des Télégraphistes, Mont-Valérien, 12, rue de Nanterre, à Suresnes (Seine). — Présenté par MM. Dumon et Lescure.

Koch (André), 7, avenue Gourgaud, à Paris. — Présenté par MM. Girard de Vasson et Meylan.

Messmer (Alexandre-Jules), Ingénieur aux *Accumulateurs électriques*, 119, rue Ordener, à Paris. — Présenté par MM. Girard de Vasson et Meylan.

Rouet de Journel (Ludovic), Inspecteur du *Service électrique de la Compagnie de Chemins de fer de Madrid à Saragosse et Alicante*, Estacion de Atocha, à Madrid (Espagne). — Présenté par MM. Hillairet et Brachotte.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT adresse des remerciements tout particuliers à M. A. Gauthier-Villars pour le don de 125 volumes qu'il a fait à la Bibliothèque de la Société.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES POUR L'EXERCICE 1903.

M. BRUNSWICK, *Rapporteur*. — « Messieurs, en raison du mandat que vous avez donné, dans l'Assemblée générale du 1^{er} avril 1903, à la Commission des Comptes et en son nom, j'ai l'honneur de vous soumettre le rapport relatif à la situation et aux dépenses et recettes de la Société durant l'exercice 1903.

» La Commission a procédé à la vérification de la comptabilité et a constaté que les comptes et le bilan au 31 décembre 1903, qui vous sont soumis, sont conformes aux écritures de vos livres; les valeurs portées au bilan sont effectivement représentées en portefeuille.

» L'état des titres principaux des comptes et du bilan donne lieu à l'analyse suivante :

» 1. *Services généraux.* — Les comptes se soldent par un excédent de 4369,79 fr.

» Les recettes se sont élevées à 37 094,62 fr; la progression des cotisations a été de 23 590 fr en 1903, contre 22 660 fr.

» Les dépenses courantes ont été de 32 134 fr contre 53 869,96 fr dans l'exercice précédent soit une diminution de 21 735,13 fr.

» L'allègement des dépenses en 1903 provient de diverses causes. En premier lieu apparaît une diminution des frais de *Bulletin* qui tombent de 21 036,96 fr en 1902, à 13 415,18 fr en 1903, grâce aux mesures prises par votre Secrétaire général à la demande de votre Trésorier.

» L'*avoir* net de la Société, accusé par le bilan au 31 décembre 1903, est de 116 476,52 fr en progression de 6708,69 fr sur l'exercice 1902.

» A l'*actif* le fonds social inaliénable, constitué conformément à l'article 12 des statuts, est revenu de 36 974,07 fr à 36 274,75 fr.

» Les fonds disponibles sont en augmentation de 6848 fr, atteignant 14 783,60 fr; parmi eux figurent 42 obligations de la Société, provenant d'abandons divers.

» Les sommes portées au passif se présentent simplement pour soldes de quelques comptes.

» Parmi ceux-ci figurent les soldes des arrérages non employés du legs Hughes dont l'attribution doit être régulièrement poursuivie.

» II. *Laboratoire.* — Les recettes directes du laboratoire ont été de 48 923 fr.

» La diminution régulière et contractuelle de 5000 fr. sur le prêt effectué par le Ministère du Commerce pour la dotation du laboratoire figure également aux recettes.

» Les frais d'administration sont en diminution sensible : 5321,85 fr en 1903 contre 6113,60 fr.

» Il en est de même pour le Chapitre des acquisitions de matériel et d'instruments qui se monte à 8093,50 fr, en diminution de 4407,90 fr.

» Le balancement des comptes a exigé le prélèvement d'une somme de 2246,25 fr sur les fonds disponibles pour acquisition

d'un matériel complémentaire dont l'installation était devenue indispensable pour les essais de machines, de jour en jour plus importants.

» Les constructions figurent au bilan pour la somme de 252 976,83 fr, défalcation faite sur l'exercice précédent des 5000 fr inscrits annuellement en compte et déduits du passif.

» Les fonds disponibles s'élèvent cette année à 18 893,64 fr.

» L'augmentation apparente de ce chef est due à la mise en réserve de fonds affectés à des travaux exécutés mais dont le règlement est momentanément suspendu.

» L'augmentation du compte matériel ressort du montant des acquisitions, soit 8093,50 fr.

» Le passif comporte une somme de 14 232,90 fr correspondant précisément aux règlements de comptes momentanément en suspens auxquels nous avons fait allusion à propos du montant des fonds disponibles.

» L'avoir net du laboratoire ressort à 377 430,11 fr, en augmentation de 5847,25 fr sur 1902.

» III. *École.* — Les recettes directes se sont élevées à 93 322,24 fr contre 103 990,11 fr en 1902.

Les diminutions sont imputables principalement à une réduction	
des redevances des élèves, soit.....	5740 fr
des souscriptions et des subventions.....	4000 fr
	9740 fr

» Aux dépenses, la plupart des postes n'ont subi que des variations peu importantes, sauf celui des acquisitions d'instruments et de matériel, en réduction de 6765,40 fr, et se montant actuellement à 4036,45 fr.

» Nous voyons apparaître aux dépenses, au titre de la Ville de Paris, une somme de 50 000 fr représentant le versement fait à la Ville pour permettre à celle-ci le déplacement du Service des Ambulances urbaines et la cession à la Société d'un terrain attenant à l'École.

» Cette importante opération, liquidée par les seules ressources de la Société au moyen d'un prélèvement de 32 462,36 fr sur les

fonds disponibles, assure ainsi des moyens d'extension précieux pour le développement de l'École.

» Conformément à la règle suivie depuis l'origine, le Chapitre des dépenses ne comporte pas d'amortissement pour le matériel de l'École. Nous croyons, toutefois, que cette question mériterait d'être prise à nouveau en considération et la signalons à cet effet, en vue de l'étude des prochains budgets.

» L'avoir net de l'École au 31 décembre 1903 est de 135 219,92 fr en diminution de 25 425,91 fr seulement sur 1902, malgré le prélèvement de 32 462,36 fr visé plus haut.

» A l'actif, les constructions sont portées sans variation sur 1902; les instruments et le matériel sont augmentés de la valeur d'acquisition des appareils nouveaux; les fonds disponibles sont ramenés à 110 14,25 fr.

» Au passif, l'amortissement de l'emprunt suit son cours régulier.

» *En résumé*, l'avoir net de la Société internationale des Électriciens au 31 décembre 1903, y compris le service du Laboratoire et de l'École, s'élève à 629 126,55 fr.

» Les livres et documents de comptabilité établissent la concordance des chiffres qui vous sont annoncés dans ce Rapport.

» La Commission vous propose d'approuver les comptes de l'exercice 1903 tels qu'ils vous sont présentés; elle vous demande de vous associer à elle pour adresser à M. le Trésorier, sans oublier le personnel qui lui prête un dévoué concours, nos plus sincères remerciements pour le zèle éclairé et les efforts qu'il apporte à la surveillance et au contrôle minutieux de vos finances. »

Ces conclusions sont approuvées par d'unanimes applaudissements.

RAPPORT DU COMITÉ D'ADMINISTRATION.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL. — « Messieurs, votre Comité d'administration est heureux d'avoir à constater de nouveau, cette année, la marche ascendante de notre Société et de ses deux créations, le Laboratoire central et l'École supérieure d'Électricité.

» De 1250, l'an dernier, le nombre des Membres de la Société est passé aujourd'hui à 1320.

» Il serait plus élevé encore si la mort n'avait fait dans nos rangs sa moisson accoutumée.

» Nous avons à déplorer la perte de notre regretté Vice-Président, M. Worms de Romilly. Notre Président s'est fait, à la séance de mai 1903, l'interprète des regrets de la Société et de ses sentiments de reconnaissance pour les nombreux et généreux services qu'elle continuait à recevoir de M. de Romilly.

» Nous avons perdu sept de nos Membres fondateurs : MM. Baudot, Cheylus, Casalonga, Guillemart, Sellier, Goldschmidt et Pescetto, et cinq Membres titulaires : MM. le prince Ténicheff, Saglio, Antoine Jarriant, Aristide Bergès et Auguste Fontaine.

» Vous avez pu constater que, grâce à l'activité de nos Présidents de section, le nombre des Communications n'a pas déchu au cours de cette année. Nous adressons nos vifs remerciements à tous nos collaborateurs.

» Il sera peut-être permis à votre Comité d'exprimer ici le vœu que, à l'avenir, le texte des Communications nous soit remis un temps suffisant avant la séance où elles doivent être exposées, pour que nous puissions l'imprimer et l'envoyer à ceux des Membres que la question traitée intéresse spécialement.

» Il sera possible, de cette façon, de soulever des discussions semblables à celles qui donnent tant d'intérêt aux séances des Sociétés anglaises et américaines, et qui sont à peu près impossibles après une simple audition de la Communication.

» Vous avez pu remarquer que, depuis le début de cette année, les notations, symboles et formules du *Bulletin* répondent aux recommandations de la Commission des notations de la Chambre des délégués du Congrès international des Électriciens de Chicago.

» Grâce à l'inépuisable obligeance de M. Potier, à qui nous sommes heureux d'exprimer notre reconnaissance, le *Bulletin* a continué à faire paraître régulièrement la *Revue des Périodiques étrangers*.

» Les 8 et 9 avril dernier, M. Janet a eu la légitime fierté d'ouvrir les portes de l'École d'Électricité et du Laboratoire central, qu'il

dirige avec le succès que vous connaissez, à de nombreux membres de la Société de Physique et de la Société des Électriciens.

» Il leur a dit que le Laboratoire central avait effectué cette année près d'un millier d'essais, dont les plus importants sont ceux des lampes à incandescence pour le Ministère de la Marine, et les essais de l'accumulateur Edison. Les résultats de ces derniers, impatiemment attendus des électriciens, nous ont été exposés par M. Janet dans une de nos séances. M. Laporte nous a mis au courant des essais qu'il poursuit au Laboratoire sur les lampes à arcs.

» La nouvelle installation à haute tension a permis d'essayer des isolateurs pour très haute tension, ainsi que des compteurs à courant alternatif de 12000 volts.

» Le personnel du Laboratoire a été appelé au Havre pour les essais de matériel Westinghouse, et à Lyon pour essayer des générateurs à courant continu.

» L'École supérieure d'Électricité, où les conférenciers ordinaires ont fait 139 conférences, a délivré l'an dernier 74 diplômes et admis cette année 81 élèves, parmi lesquels figurent, avec d'anciens élèves de toutes nos grandes écoles, des Officiers et Ingénieurs délégués par leurs Ministères respectifs.

» Il ne nous reste, après ce rapide examen, qu'à souhaiter de voir cette prospérité de notre Société, du Laboratoire et de l'École, continuer à s'affirmer dans les années à venir. » (*Applaudissements.*)

DÉLIBÉRATION RELATIVE A LA CONCESSION DE TERRAIN.

M. le PRÉSIDENT résume la question des négociations engagées avec la Ville de Paris pour obtenir la cession des terrains précédemment occupés, rue de Staël, par le Dépôt des Ambulances municipales en vue de donner au Laboratoire central et à l'École supérieure d'Électricité un développement indispensable.

Il fait connaître à la Réunion que la Société internationale des Électriciens, ayant accompli les conditions posées par la Ville de Paris, a reçu de M. le Préfet de la Seine l'acte authentique de cette concession pour lequel il demande la sanction de l'Assemblée générale. A cet effet, il donne lecture du document suivant :

*Concession de l'emplacement et des constructions de la station
d'Ambulances municipales, rue de Staël.*

Acte de réalisation.

L'an mil neuf cent quatre,

Le quatorze janvier,

Par devant nous Justin-Germain-Casimir de Selves, Préfet du département de la Seine, Grand Officier de la Légion d'honneur, Officier de l'Instruction publique, demeurant à Paris, à l'Hôtel de Ville,

Agissant au nom de la Ville de Paris et en exécution de deux délibération du Conseil municipal en date des 13 décembre 1901 et 26 mars 1902, approuvées respectivement par arrêtés préfectoraux des 23 janvier et 26 avril 1902,

A comparu :

M. Violet, Ingénieur des Arts et Manufactures, Chevalier de la Légion d'honneur, Trésorier de la Société internationale des Électriciens,

Agissant au nom de la Société et comme spécialement autorisé à cet effet par délibération du Conseil d'administration en date du 27 mai 1903, dont une copie certifiée et dûment timbrée est demeurée ci-annexée, après mention, lequel a exposé ce qui suit :

Par un acte administratif en date du 14 mars 1894, la Ville de Paris a concédé à la Société internationale des Électriciens dont le siège était à cette époque rue de Rennes, 44, un terrain communal situé rue de Staël et rue Ernest-Renan, comportant une surface de 1475 m environ. Cette concession a été consentie pour une durée de soixante années entières et consécutives courant du 4 juin 1892, moyennant diverses clauses et conditions et notamment l'obligation de verser à la caisse municipale une redevance annuelle de un franc.

Sur l'emplacement ainsi concédé, la Société a édifié les bâtiments nécessaires au Laboratoire d'Électricité et à l'École supérieure d'Électricité. Ces constructions étant devenues insuffisantes, la Société a demandé que la Ville de Paris lui concédât, afin de permettre l'agrandissement de son installation, le terrain et les locaux contigus occupés par la Station d'Ambulances municipales de la rue de Staël. Cette concession ayant été autorisée en vertu de deux délibérations du Conseil municipal de la Ville de Paris en date des 13 décembre 1901 et 26 mars 1902, approuvées par arrêtés préfectoraux des 23 janvier et 26 avril 1902, il ne reste plus qu'à réaliser la convention additionnelle.

ART. 1^{er}. — En conséquence, Nous, Préfet de la Seine, agissant comme représentant de la Ville de Paris, concédons par les présentes à la Société internationale des Électriciens, reconnue d'utilité publique par décret en date du 7 décembre 1886 et dont le siège social est rue de Staël, 14, un terrain d'une superficie de 788 m environ, ainsi qu'il est figuré et teinté en bleu sur un plan dressé à la Préfecture de la Seine, lequel plan sera timbré et enregistré en même temps que les présentes et demeurera ci-annexé, après avoir été certifié véritable par les parties qui ci-dessus ont fait mention de cette annexe.

ART. 2. — La présente concession est faite pour une durée de 60 années entières et consécutives, qui commencera à courir le 7 novembre 1903, jour où la Société a pris possession dudit terrain, et prendra fin le 7 novembre 1963.

La concession consentie par l'acte administratif du 14 mars 1894 est prorogée jusqu'à l'expiration de la nouvelle concession.

ART. 3. — La concession nouvelle est consentie aux mêmes clauses et conditions que celles insérées dans l'acte du 14 mars 1894 et notamment sous l'obligation, pour la Société internationale des Électriciens, d'abandonner sans indemnité, en toute propriété, à la Ville de Paris, lors de la cessation de la concession, soit qu'elle prenne fin par l'expiration de la durée normale prévue, soit qu'avant cette date la Société renonce pour un motif quelconque à l'entretien du Laboratoire, les accroissements immobiliers pouvant avoir été opérés par elle pour la régularisation et l'agrandissement du périmètre de la propriété communale, ensemble toutes les constructions pouvant alors exister, tant sur le terrain faisant l'objet de la présente concession complémentaire, que sur le terrain compris dans la concession antérieure, ainsi que les aménagements intérieurs ayant le caractère d'immeubles par destination; toutes les constructions nouvelles qui pourraient être édifiées par la Société en même temps que ceux contigus actuellement occupés par elle.

ART. 4. — La Société paiera tous les frais auxquels le présent acte donnera ouverture et supportera les charges et impôts de toute nature (y compris la taxe de main-morte et celle de balayage) établis ou à établir afférents à la propriété du sol et des constructions.

ART. 5. — L'enregistrement est requis pour une période de 3 ans. Les charges résultant de la présente convention sont évaluées, pour la perception du droit d'enregistrement seulement, à la somme de 300 fr par an.

ART. 6. — La convention sera transcrite aux frais et par les soins de la Société.

Dont acte.

Fait et passé à Paris à l'Hôtel de Ville les jour, mois et an que dessus, et a le comparant signé avec nous après lecture.

Signé : DE SELVES.

*Lu et approuvé,
Signé : L. VIOLET.*

Mis au voix, l'acte de concession est adopté, dans son ensemble, à l'unanimité.

M. le PRÉSIDENT invite les Sociétaires qui n'ont pas envoyé leur bulletin de vote à venir le déposer dans l'urne et, à cet effet, suspend la séance pendant 5 minutes.

Le vote étant clos et les bureaux de scrutin constitués pour son dépouillement, la séance est reprise pour la suite de l'ordre du jour qui appelle les Communications techniques.

DISCUSSION SUR LA NOMENCLATURE ÉLECTRIQUE.

M. LAURIOL. — « Dans la dernière séance, M. Hospitalier vous a fait diverses propositions touchant la nomenclature.

» En ce qui concerne la terminologie des courants alternatifs, je regretterais de voir introduire le mot *imaginaire*.

» Il y a là une réminiscence de l'Algèbre. Or, en Algèbre, l'emploi de ce mot est des plus fâcheux et ne fait que troubler l'esprit; les quantités dites *imaginaires* ne sont ni plus ni moins imaginaires, ni plus ni moins réelles que les quantités dites *réelles*; on a le mot *complexe* qui dit fort bien tout ce qu'il faut dire, et mieux vaut s'y tenir.

» Pour les mêmes motifs, l'emploi du mot *imaginaire* me paraîtrait fâcheux en matière de courant alternatif. Les deux composantes d'un courant et la résultante ne sont pas plus imaginaires l'une que l'autre.

» Les expressions de *courant en phase* et de *courant en quadrature*, très justes dans le cas où il n'y a pas d'harmoniques, ne sont plus exactes dans le cas général.

» Les dénominations que nous conseillerions seraient :

Courant efficace (avec le sens aujourd'hui consacré);
Courant actif;
Courant inactif;
Puissance apparente;
Puissance active;
Puissance inactive.

» (Que l'on nous excuse sur l'incorrection grammaticale des deux dernières expressions.) Les définitions seraient :

Puissance apparente = courant efficace . force électromotrice efficace;

Puissance active = valeur moyenne de la puissance instantanée;

Courant actif = $\frac{\text{puissance active}}{\text{force électromotrice efficace}}$;

Courant inactif = $\sqrt{(\text{courant efficace})^2 - (\text{courant actif})^2}$;

Puissance inactive = courant inactif . force électromotrice efficace.

» Si l'on tenait à plus de justesse et à moins de symétrie dans les termes, on pourrait employer les dénominations suivantes :

Courant efficace;
Courant actif;
Courant inactif;
Puissance apparente;
Puissance vraie;
Puissance fictive.

» J'insisterai pour qu'on bannisse du langage courant certaines expressions incorrectes telles que les mots kilowatt ou hectowatt employés trop fréquemment pour indiquer des quantités d'énergie. Les coupables ont une excuse dans la longueur des mots kilowatt-heure ou hectowatt-heure. Peut-être conviendrait-il de créer un mot pour l'unité courante d'énergie. J'y reviendrai plus loin.

» Pour la facilité des calculs, j'insisterai aussi en faveur de l'emploi exclusif des unités C.G.S. Trop profane pour oser demander aux marins de renoncer au mille, au nœud, etc., je demanderai au moins aux industriels d'exprimer les vitesses en m:s et non en km:h; les vitesses angulaires en tours par seconde et non en tours par minute; les puissances en kilowatts ou hectowatts, et non en *lampes*, comme le font bien des Compagnies électriques.

» Enfin, dans le même ordre d'idées et malgré les objections que je devine facilement, il conviendrait d'exprimer l'énergie en joules ou multiples décimaux du joule ou watt-seconde et non en multiples décimaux du watt-heure.

» Que l'on choisisse une unité dérivée du watt-heure ou du watt-seconde, il conviendrait de choisir une dénomination suffisamment brève pour l'unité d'énergie, qui est d'un usage courant. Si l'on en revenait au système C.G.S. abandonné pour le moment, le mégajoule conviendrait assez bien. »

M. BOUCHEROT. — « Je n'ai que quelques mots à dire au sujet des composantes d'un courant alternatif.

» Il n'est pas douteux que les expressions les plus exactes sont *courant en phase* et *courant en quadrature*. L'objection faite par M. Lauriol en ce qui concerne les harmoniques n'a pas une très

grande portée, je crois, pour les deux raisons suivantes : 1° parce que l'on réalise aujourd'hui des machines dont les courbes sont, à très peu près, sinusoïdales; il n'y a plus aucune comparaison entre les courbes relevées sur les alternateurs que l'on construit aujourd'hui et ces courbes extravagantes que l'on a relevées sur d'anciennes machines; 2° parce que, même avec quelques harmoniques *raisonnables*, les résultats réels sont très peu différents de ce que donne l'hypothèse sinusoïdale, ainsi qu'en sont bien convaincus tous ceux qui s'occupent de ces questions depuis longtemps. M. Chaumat nous en a donné quelques exemples nets dans la dernière séance.

» Les expressions *courant en phase* et *courant en quadrature* ont cependant un inconvénient : c'est qu'elles ne peuvent pas s'étendre, il me semble, aux puissances correspondantes.

» Le courant en phase étant $I \cos \varphi \sin \omega t$, la puissance correspondante est $E I \cos \varphi \cdot \sin^2 \omega t = \frac{E I \cos \varphi}{2} (1 - \cos 2 \omega t)$.

» Le courant en quadrature étant $I \sin \varphi \cos \omega t$, la puissance correspondante est $E I \sin \varphi \sin \omega t \cos \omega t = \frac{E I \sin \varphi}{2} \sin 2 \omega t$.

» Elles sont toutes deux de pulsation 2ω , double de la pulsation du courant ou de la force électromotrice; il est donc illégitime de dire *puissance en phase* et *puissance en quadrature*, et il faut trouver des adjectifs différents pour les puissances.

» En ce qui concerne la composante en quadrature, je me sers, et d'autres aussi, depuis longtemps, de l'adjectif *magnétisant* : *courant magnétisant*, *puissance magnétisante*. Cette expression a l'avantage de représenter ce qui se passe dans la grande majorité des cas. Qu'il s'agisse de bobines de self-induction, de transformateurs, d'alternateurs, de moteurs synchrones ou de moteurs asynchrones, le courant en quadrature est, à très peu de chose près, le courant magnétisant, le courant qui *magnétise* l'appareil. L'idée de sens s'attache également à cet adjectif; si l'on dit : « tel appareil reçoit du courant magnétisant », on comprend qu'il est magnétisé par ce courant; si l'on dit : « tel appareil débite du courant magnétisant », on comprend qu'il est démagnétisé par ce courant. On peut objecter que, dans les appareils que je viens d'énumérer, le courant en qua-

drature ne serait exactement le courant magnétisant que s'il n'y avait pas de résistance ohmique; c'est vrai, mais la différence est pratiquement insignifiante : de $\frac{2}{10000}$ par exemple, pour une bobine de self-induction.

» Il n'y a que lorsqu'on associe plusieurs appareils en série que l'expression *courant magnétisant*, toujours correcte pour chacun d'eux, devient incorrecte pour l'ensemble, mais il est alors bon de remarquer que l'expression *puissance magnétisante* reste encore tout à fait rigoureuse : la puissance magnétisante aux bornes du circuit total est bien la somme des puissances magnétisantes des divers appareils en série.

» Je suis, en tous cas, pour l'opinion déjà formulée par plusieurs personnes que l'expression *courant imaginaire* est complètement à rejeter, le courant dans une bobine de self-induction, par exemple, étant tout ce qu'il y a de plus réel.

» En résumé, je me rallierais plus volontiers aux expressions *courant en phase* et *courant en quadrature*, à la condition qu'on donne des noms aux puissances correspondantes, par exemple : *puissance réelle* et *puissance magnétisante*. »

M. BRYLINSKI. — « Ce qui paraît avoir favorisé l'emploi des termes *courant watté* et *courant dévatté*, c'est leur brièveté. J'ai essayé moi-même de faire usage de l'expression *courant en quadrature*, mais je l'ai trouvée beaucoup trop longue. Je considère, à cet égard, *courant actif* et *courant réactif* comme préférables. »

M. H. TRIPIER. — « Messieurs, permettez-moi de proposer à votre critique de nouvelles dénominations pour les composantes du courant que l'on a à considérer dans la plupart des cas.

» Selon moi, les dénominations que je propose auraient l'avantage de pouvoir convenir dans tous les cas possibles, d'une part, et de rappeler la relation nécessaire et suffisante qui doit exister entre un courant et une force électromotrice pour que, par leur association, tout le courant donne lieu à une production d'énergie, d'autre part.

» En désignant par e et i deux fonctions absolument quelconques de la variable t , la condition nécessaire et suffisante pour que le

rapport

$$\frac{\left(\int_0^T e i \, dt\right)^2}{\int_0^T e^2 \, dt \cdot \int_0^T i^2 \, dt} = K^2$$

soit égal à 1 est que

$$\frac{e}{i} = \text{const.}$$

entre les limites d'intégration.

» Si le rapport $\frac{e}{i}$ est variable, on a

$$K < 1.$$

» On peut donc poser, d'une manière générale,

$$K = \cos \varphi.$$

» La condition

$$\frac{e}{i} = \text{const.},$$

pour

$$0 < t < T,$$

est équivalente à la suivante :

» Les ordonnées des courbes représentant respectivement les valeurs de e et de i en fonction de t doivent être proportionnelles, pour

$$0 < t < T.$$

» Dans le cas particulier où les fonctions e et i seraient périodiques, ceci s'exprimerait en disant que les deux courbes en question doivent à la fois, et avoir la même forme et ne présenter aucun décalage.

» Si e et i représentent respectivement une force électromotrice agissant sur un conducteur et un courant circulant dans ce conducteur, la condition générale que nous venons d'énoncer sera celle qui est nécessaire et suffisante pour que, dans l'intervalle de temps compris entre les instants 0 et T , la force électromotrice e donne lieu avec le courant i au développement d'une puissance moyenne mesurée par le produit des valeurs efficaces, correspondant à l'intervalle de temps considéré, de cette force électromotrice et de ce courant.

» Ces considérations justifient la décomposition générale d'un

courant proposée par M. Swyngedauw (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 15 juin 1903), décomposition en deux termes, dont l'un est proportionnel à la valeur de la force électromotrice agissante et correspond à lui seul à tout le développement d'énergie produit, et dont l'autre forme un complément ne prenant aucune part à ce développement d'énergie, ainsi que l'expriment les formules de définition suivantes :

$$i = p + c,$$

$$\int_0^T ei \, dt = \int_0^T ep \, dt, \quad \text{et} \quad \frac{e}{p} = \text{const.},$$

de telle sorte que

$$\int_0^T ei \, dt = \int_0^T ep \, dt = \sqrt{\int_0^T e^2 \, dt} \cdot \sqrt{\int_0^T p^2 \, dt},$$

puisque

$$\frac{e}{p} = \text{const.};$$

dans ces conditions, la puissance moyenne développée se trouve avoir pour mesure le produit des valeurs efficaces de la force électromotrice et du terme proportionnel à cette force électromotrice.

» Les termes p et c représentent donc les composantes que l'on

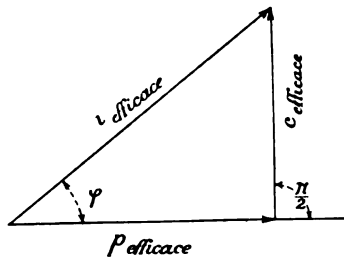


Fig. 1.

a jusqu'ici désignées le plus souvent, respectivement, par les noms de *courant watté* et de *courant déwatté*.

» On a, d'ailleurs, ainsi que l'a démontré M. Swyngedauw :

$$(i_{\text{eff.}})^2 = (p_{\text{eff.}})^2 + (c_{\text{eff.}})^2$$

et

$$\frac{c_{\text{eff.}}}{p_{\text{eff.}}} = \tan \varphi \quad (\text{fig. 1});$$

il en résulte que

$$(\text{Puissance moyenne})_0^T = (e_{\text{eff.}})_0^T \cdot (p_{\text{eff.}})_0^T = (e_{\text{eff.}})_0^T \cdot (i_{\text{eff.}})_0^T \cdot \cos \varphi.$$

» Étant donnée la définition générale de ces termes, nous proposons ici de désigner à l'avenir les composantes en question par les noms de

courant proportionnel

et de

courant complémentaire,

noms qui auront une signification précise dans tous les cas possibles, et qui rappelleront que la condition nécessaire et suffisante pour que le facteur de puissance K ne soit pas inférieur à 1 est que les courbes représentatives de la force électromotrice et du courant considérés aient leurs ordonnées proportionnelles.

» Les noms de *courant en phase* et de *courant en quadrature* n'ont, eux, de signification précise que lorsqu'à la fois la force électromotrice et le courant considérés sont des fonctions sinusoïdales du temps, parce qu'ils correspondent à une représentation vectorielle qui n'est applicable que dans ce cas particulier; il est facile de remarquer qu'alors le courant en phase est bien le courant proportionnel, et le courant en quadrature le courant complémentaire, comme le montrent, d'ailleurs, les formules

$$\begin{aligned} e &= E \sin \omega t, \\ i &= I \sin(\omega t - \varphi) = I \cos \varphi \sin \omega t + I \sin \varphi \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right), \\ \text{puissance moyenne} &= \frac{E}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I}{\sqrt{2}} \cdot \cos \varphi. \end{aligned}$$

» Pour certains récepteurs, pour les arcs, par exemple, et surtout pour les arcs à flamme et pour les arcs à vapeur de mercure (foyers lumineux, redresseurs de courants, interrupteurs à haute fréquence), le rapport entre la différence de potentiel aux bornes, u , et le courant qui circule dans le récepteur, i , est constamment variable et toujours positif, de sorte que les courbes représentatives de u et de i n'ont pas la même forme mais ont des zéros homologues qui coïncident. Dans ce cas, puisqu'on n'a pas

$$\frac{u}{i} = \text{const.},$$

le facteur de puissance est inférieur à 1, malgré qu'il n'y ait aucun

décalage entre les courbes en question, en entendant par *décalage* la distance entre deux zéros homologues consécutifs quelconques.

» Ce cas peut correspondre, en pratique, à une mise en jeu d'énergie très notable, puisque dans l'éclairage des grands espaces on rencontre constamment de très importants circuits destinés uniquement à l'alimentation de lampes à arc.

» Le cas où, à la fois, les forces électromotrices et les courants sont des fonctions sinusoïdales du temps, ne saurait donc être considéré comme le seul qui intervienne dans la pratique, et c'est pourquoi je désirerais que l'on considérât le cas général pour définir les composantes du courant.

» Je propose donc les expressions de

courant proportionnel

et de

courant complémentaire,

expressions qui, selon moi, présentent deux avantages, à savoir :

- » 1^o Elles ont un sens précis dans tous les cas possibles,
- » 2^o Elles rappellent la condition nécessaire et suffisante pour que le facteur de puissance ne soit pas inférieur à 1. »

M. R. ARNOUX. — « Après l'unification de la nomenclature des grandeurs physiques celle des lettres, symboles ou abréviations pour désigner ces mêmes grandeurs est au moins aussi désirable ; la lecture des publications techniques serait ainsi singulièrement facilitée. Il serait à souhaiter également de voir se généraliser l'usage adopté par quelques auteurs de placer, au commencement ou à la fin de leur Ouvrage, la signification physique, *exacte et toujours la même*, des lettres ou symboles employés au cours de l'Ouvrage. Rien n'est plus pénible en effet que la lecture d'un travail dans lequel cette signification, quand elle n'est pas oubliée par l'auteur, change constamment.

» Au sujet du terme *imaginaire*, je partage entièrement l'avis de MM. Lauriol et Boucherot. Il n'y a pas de quantités *imaginaires* et les quantités prétendues telles sont aussi réelles que les autres. Le cas des courants alternatifs est tout à fait comparable à celui de la composition des forces en Mécanique. Lorsque plusieurs forces agissent sur un même mobile et *suivant la même direction*, leur

résultante s'obtient immédiatement par la simple addition *algébrique* des longueurs représentatives de leur valeur absolue. Mais si elles agissent *suivant des directions différentes*, cette simple addition ne suffit plus; il faut, en outre de leurs valeurs absolues, tenir compte de leurs *directions* et l'*addition algébrique* doit être remplacée par une *addition géométrique*. Dans ce cas il ne viendra à l'esprit de personne d'affirmer que des forces deviennent *imaginaires* dès qu'elles cessent d'agir dans une direction commune; elles sont tout aussi *réelles* dans un cas que dans l'autre.

» Le problème de l'addition des onctions périodiques représentatives des forces électromotrices, réglant la valeur d'un courant alternatif traversant un circuit, ne diffère pas de l'addition des forces mécaniques réglant la valeur de leur *résultante*. En effet, à la considération de *direction* des forces se substitue simplement celle de *déphasage* ou de *décalage* des fonctions périodiques représentatives et, comme l'une et l'autre peuvent être caractérisées par des *angles*, le calcul obéit aux mêmes règles.

» Particulièrement en ce qui concerne la dénomination à donner aux deux courants dont la *composition* règle la valeur du courant résultant, le seul qui soit mesurable, les expressions de *courant actif* et de *courant réactif* manquent de justesse et de précision. De justesse, parce qu'on ne peut pas dire qu'ils soient plus réactifs qu'actifs, et de précision, pour la raison suivante :

» Si $\Phi_m \sin \omega t$ représente la fraction du flux magnétique maximum Φ_m qu'embrasse à chaque instant un circuit électrique de résistance R et d'auto-induction L , la force électromotrice induite varie suivant la dérivée de cette fonction par rapport au temps t , c'est-à-dire suivant la fonction périodique $\Phi_m \omega \cos \omega t$ et le courant I qui traverse le circuit peut s'écrire sous la forme

$$I = \frac{R}{R^2 + L^2 \omega^2} \Phi_m \omega \cos \omega t + \frac{L \omega}{R^2 + L^2 \omega^2} \Phi_m \omega \left[\sin \omega t = \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \right].$$

Ce courant I est donc la *résultante* de deux courants, le premier qu'on peut appeler *courant phasé* parce qu'il est *en phase* avec la force électromotrice $\Phi_m \omega \cos \omega t$ et le second qu'on peut appeler *courant quadratique* puisqu'il est *constamment en retard* de $\frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire *en quadrature* avec cette force électromotrice. Ce dernier courant est d'ailleurs aussi *réel* que les deux autres.

» Les expressions de *courant watté* et de *courant déwatté*, qui ont été également proposées, sont impropres et imprécises, d'abord parce que les dénominations *watté* et *déwatté* sont applicables à des puissances mais non à des courants et ensuite parce qu'il est peu rationnel, comme l'a fait observer M. Hospitalier, d'introduire des dénominations d'unités de mesure dans la définition d'une grandeur physique.

» Les expressions de *courant phasé* et de *courant quadratique* pour désigner deux courants qui sont *toujours* l'un *en phase* et l'autre *en quadrature* avec la force électromotrice, comportent au contraire toute la précision nécessaire puisque les *forces électromotrices* qui leur correspondent se composent comme deux *forces mécaniques* agissant *toujours* à angle droit l'une de l'autre. »

M. P. JANET. — « Les mots *watté* et *déwatté* ont évidemment dû leur succès rapide dans le monde des Ingénieurs électriciens à leur brièveté et à la commodité de leur emploi, et je dois dire que je les utilise moi-même plus d'une fois dans mon cours.

» Les mots *en phase* et *en quadrature* qu'on a proposé de leur substituer, quoique moins brefs, auraient peut-être l'avantage de forcer celui qui les emploierait à préciser son langage et, par suite, sa pensée. Quand on dit *en phase* et *en quadrature*, il est nécessaire de dire avec quel élément périodique la grandeur que l'on considère est en phase ou en quadrature. Prenons l'exemple d'un alternateur alimentant un récepteur par l'intermédiaire d'une longue ligne; on peut distinguer : 1° la force électromotrice de l'alternateur; 2° la différence de potentiel aux bornes de cet alternateur; 3° la différence de potentiel aux bornes du récepteur. Si l'on parle des composantes du courant en phase ou en quadrature, il faudra ajouter si c'est par rapport à l'une ou l'autre de ces trois quantités, et ces composantes varieront dans les trois cas. Les mots *watté* et *déwatté* permettent au contraire de rester dans le vague; c'est peut-être une des causes de leur emploi si fréquent, mais ce n'est pas là un éloge qu'on en puisse faire. »

M. E. HOSPITALIER. — « Je me félicite d'avoir appelé l'attention de la Société internationale des Électriciens sur la nomenclature

SOCIÉTÉ GRAMME

Bureaux et Ateliers :

20, Rue d'Hautpoul, PARIS.

Adresse télégraphique :

GRAMME-PARIS.

DYNAMOS-VOLANTS

COURANT CONTINU

TRANSPORT

de force

ÉLECTROLYSE

MOTEURS FERMÉS

ALTERNATEURS

VOLANTS

Transformateurs

MOTEURS

ASYNCHRONES

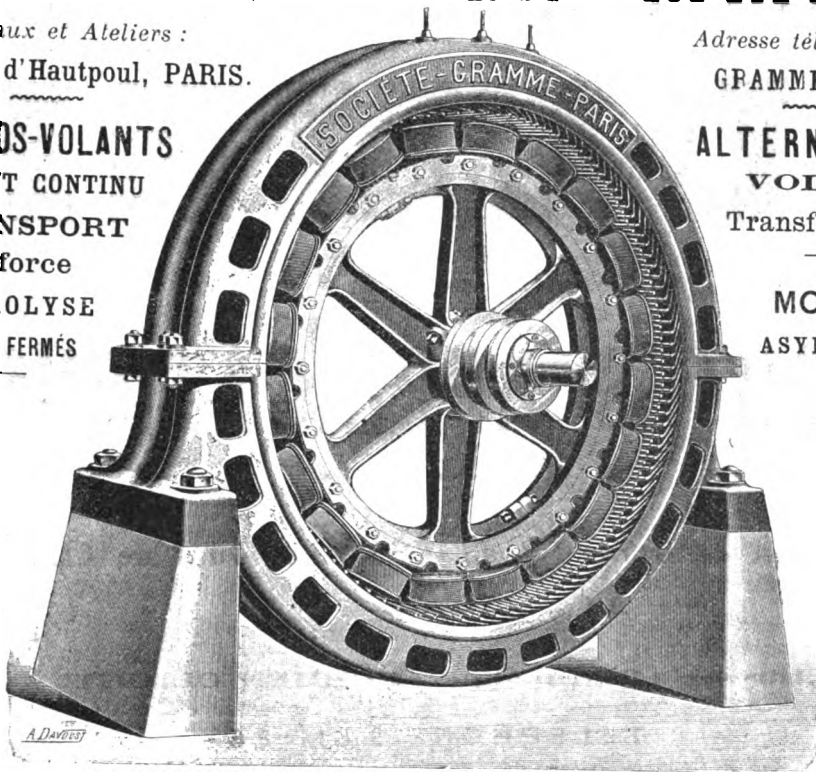
ACCUMULATEURS

à poste fixe

et de traction

LAMPES A ARC

et à incandescence



Alternateur volant de 500 kilowatts, 25 périodes, 150 tours.

" L'ÉLECTROMÉTRIE USUELLE "

MANUFACTURE D'APPAREILS DE MESURES ÉLECTRIQUES

Ancienne Maison L. DESRUELLES

GRAINDORGE, SUCCESEUR.

Ci-devant 22, rue Langier,

Actuellement 81, boulevard Voltaire, PARIS (41°).

VOLTS-MÈTRES ET AMPÈRES-MÈTRES

industriels et apériodiques sans aimant.

TYPES SPÉCIAUX DE POCHE POUR AUTOMOBILES.

Téléphone 922-53.

Envoi franco des tarifs sur demande.

Téléphone 922-53.



LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS,

QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 55, A PARIS (6°).

CULLEY (R.-S.). — Manuel de Télégraphie pratique.

Traduit de l'anglais (7^e édition), et augmenté de Notes sur les appareils Breguet, Hughes, Meyer et Baudot, sur le système quadruplex, sur les transmissions pneumatiques et téléphoniques, par Henri BERGER, Directeur-Ingénieur des lignes télégraphiques, ancien Elève de l'Ecole Polytechnique, et Paul BARDONNAUT, Directeur des postes et des télégraphes, ancien Elève de l'Ecole Polytechnique. Un beau volume grand in-8, avec 252 figures et 7 planches; 1882.

Broché.... 18 fr. | Cartonné... 20 fr.

WITZ (Aimé). — Cours supérieur de manipulations de Physique, préparatoires aux certificats d'Etudes supérieures et à la Licence (Ecole Pratique de Physique). 2^e édition revue et augmentée. In-8, avec 138 figures; 1897..... 40 fr.

PILES P. DELAFON

A liquide immobilisé

ADOPTÉES PAR L'ÉTAT ET LA PLUPART DES COMPAGNIES DE CHEMINS DE FER

PLUS DE 150 000 ÉLÉMENTS EN SERVICE

Brevetées en France et à l'Étranger

BUREAUX ET USINES :

128, rue de la Convention, Paris (XV^e)

Téléphone 720 01.

ACCUMULATEURS **FULMEN**

pour

TOUTES APPLICATIONS

Bureaux et Usine : à CLICHY, 18, Quai de Clichy.

Adresse télégraphique : FULMEN CLICHY.

TÉLÉPHONE : 511-86

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS,
Quai des Grands-Augustins, 55, à Paris (6°).

Envoi franco dans toute l'Union postale contre mandat de poste ou valeur sur Paris.

TRAITÉ DE MAGNÉTISME TERRESTRE,

Par E. MASCART,

Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France,
Directeur du Bureau central météorologique.

Grand in-8 de vi-441 pages, avec 94 figures; 1900..... 15 francs.

électrique, puisque ma Communication a suscité l'intéressante discussion à laquelle je ne répondrai que quelques mots, à titre personnel, et non comme Président de la Société.

» Le but que je poursuivais, en proposant respectivement les noms d'*actif* et d'*imaginaire*, était surtout de faire ressortir l'illogisme, pour ne pas dire l'absurdité, des mots *watté* et *déwatté*, qui introduisent une unité dans la définition d'une grandeur, contre toutes les règles d'une terminologie rationnelle, je constate avec plaisir que personne n'a défendu ces deux noms, et puisque le mot *imaginaire*, que nous avons proposé seulement en considération des procédés de calcul actuellement en honneur dans l'étude des courants alternatifs, ne rencontre pas de partisans, nous en faisons très volontiers le sacrifice en faveur des mots *actif* et *réactif*, qui nous avaient été suggérés par M. Brunswick, et auxquels M. Brylinski s'est rallié.

» Ils ont l'avantage de s'appliquer également bien aux courants et aux puissances, et, de plus, le mot *réactif* rappelle la réactance (de self-induction, de capacité ou de moteur synchrone surexcité) qui provoque ce courant.

» Les noms *en phase* et *en quadrature* proposés par M. Mascart au Congrès de Genève, en 1896, conviendraient également.

» On pourrait également adopter les noms *phasé* et *quadratique*, proposés par M. Arnoux.

» On n'aura donc que l'embarras du choix pour faire disparaître les mots *watté* et *déwatté*, formés contre les lois de la logique, et qui, appliqués aux puissances, perdent toute signification.

» Nos autres propositions n'ayant pas soulevé d'objections, ni de critiques, nous nous permettrons de considérer le silence des intéressés comme un acquiescement et un encouragement à les soumettre à l'approbation, tout au moins officieuse, du Congrès international des Électriciens de Saint-Louis. »

M. le PRÉSIDENT remercie les orateurs qui ont pris part à cette discussion.

ÉTUDE DU PRIMAIRE DE LA BOBINE D'INDUCTION
AU MOYEN DE L'ONDÉGRAPHE D'HOSPITALIER.

MM. André BROCA et TURCHINI. — « Nous avons eu besoin d'étudier les propriétés des divers interrupteurs et des diverses bobines que nous avons à notre disposition, pour une étude dont nous ne parlerons pas aujourd'hui, et nous avons eu sur les uns et sur les autres des résultats intéressants, au moyen de l'ondographe d'Hospitalier.

» Cet appareil permet d'obtenir la courbe représentative d'un phénomène, en le rendant périodique, et en liant invariablement cette périodicité avec celle des contacts successifs qui permettent aux différences de potentiel étudiées de charger le condensateur dont la décharge fait fonctionner l'appareil inscripteur (*voir* la description de l'appareil, *Bulletin* de juillet 1901). Nous avons eu à notre disposition un ondographe muni d'un petit moteur synchrone disposé pour l'étude des courants de secteur. Nous avons donc dû alors régler les interrupteurs dont nous nous servions à cette même fréquence.

» Nous avons pu d'abord étudier la fermeture et la rupture dues à une tige qui plonge dans le mercure, en employant un diapason de Villard, synchronisé avec le secteur. Nous avons pu de la sorte obtenir quelques résultats, mais nous avons tout de suite vu que, aussitôt que l'interrupteur avait fonctionné quelques instants, toute régularité disparaissait, et que, surtout à la rupture, il ne permettait pas d'obtenir des résultats nets. Cela nous a expliqué pourquoi cet appareil donne dans les expériences de haute fréquence des résultats irréguliers. De plus, en le faisant fonctionner avec une grosse bobine de 55 cm d'étincelle, construite par Radiguet, il nous a montré un allongement énorme de la période de fermeture, quand l'intensité était notable, et surtout de la période de rupture, qui montre bien pourquoi, avec les bobines qui, comme la nôtre, présentent une grosse self-induction au primaire, le diapason de

Villard ne donne pas de bons résultats. Il semble que, dans ces conditions, le mercure fasse la queue, et mette à se rompre un temps qui n'est pas moindre que $\frac{1}{200}$ de seconde.

» Les irrégularités de cet appareil étant bien démontrées de la sorte, nous avons alors pris comme interrupteur une turbine à mercure qui, sans nous donner une régularité parfaite des phénomènes, nous a cependant permis de voir un certain nombre de choses.

» Nous avons dû tout d'abord obtenir une rotation de cette turbine, exactement synchrone avec celle du secteur; il fallait pour cela l'actionner au moyen d'un moteur synchrone à courants alternatifs. M. Gaiffe, qui en avait un au mois de juillet dernier, l'a mis aimablement à notre disposition, ce qui nous a permis de faire les expériences. Ce moteur ayant été démoli depuis, car son rendement n'était pas assez satisfaisant, nous avons le regret de ne pouvoir répéter les expériences devant la Société.

» Il fallait, pour avoir des résultats convenables, que la réunion du moteur et de la turbine fût absolue pendant la rotation. Il ne pouvait être question de la transmission par courroie. Celle par engrenages aurait été fort dispendieuse, et même fort difficile à la vitesse de 42 tours par seconde à laquelle nous tournions, aussi avons-nous employé la liaison par câble souple. Mais, à la vitesse précédente, celui-ci prend forcément une flèche considérable par force centrifuge et arrache tout. Nous l'avons empêché de prendre cette flèche en l'entourant par un tube de cuivre ayant pour longueur à peu de chose près la distance entre les deux axes de la turbine et du moteur. La turbine ayant son axe vertical, le moteur était disposé au-dessus d'elle sur un bâti convenable. Des expériences antérieures nous avaient montré qu'à cette vitesse la turbine à mercure commence à donner des interruptions vraiment régulières. Elles sont cependant moins bonnes que celles que l'on obtient avec 60 tours à la seconde; mais, comme on le verra, elles sont suffisantes pour donner des résultats convenables en Ondographie.

» Nos expériences ont porté sur deux bobines, une petite de 25 cm d'étincelle de Carpentier et une grosse de 55 cm de Radiguet. La première avait une petite self primaire, la seconde une self relativement très grande.

» Nos premières expériences ont été faites avec l'ondographe tel qu'il est employé industriellement, c'est-à-dire avec l'inscription à l'encre. Nous n'avons pas tardé à nous apercevoir que, au moins dans le cas de la petite bobine, où les phénomènes étaient beaucoup plus rapides, les courbes étaient déformées par l'inertie et le frottement de l'appareil inscripteur. Nous avons alors continué en employant l'inscription sur noir de fumée, avec une plume frottant très légèrement. Pour la grosse bobine, les résultats n'ont pas été différents de ceux qu'a donnés la plume, mais pour la petite ils ont été de beaucoup supérieurs. Nous avons d'ailleurs vérifié qu'ils étaient exacts en faisant varier systématiquement le frottement de la plume. Dans ces conditions, nous avons pu voir que, pour les appuis considérables de celle-ci, la courbe était différente de celle que donne un appui faible, mais qu'ensuite, à partir d'une certaine valeur de cet appui, les courbes restent toujours identiques, aux erreurs près qui sont inhérentes à l'expérience.

» Nous avons alors pu étudier diverses propriétés du circuit pendant son fonctionnement. Nous donnons ci-après (*fig. 1*) le montage

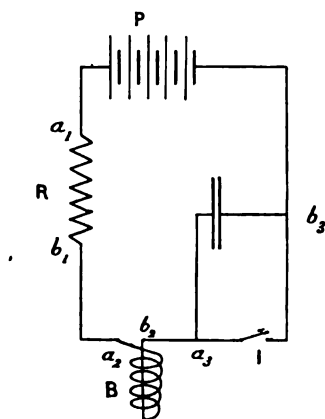


Fig. 1.

normal de la bobine : P est la pile, R est une résistance morte, B est la bobine de self et I l'interrupteur. Nous avons pu étudier à l'ondographe les différences de potentiel entre a_1 et b_1 aux bornes de la résistance morte, ce qui nous donne la courbe des intensités. Ensuite nous avons, généralement sur le même papier, pris la différence de potentiel en a_2 et b_2 aux bornes de la self, puis nous avons pu

prendre la différence entre a_3 et b_3 , c'est-à-dire la différence aux bornes du condensateur primaire ⁽¹⁾.

» Les courbes que nous avons eues dans les deux premières positions sont moins nettes que celles que M. Armagnat a eues par la méthode de l'oscillographe, mais la dernière différence de potentiel ne peut être mesurée par cette dernière méthode et nous verrons qu'on a ainsi un résultat intéressant.

» Nous allons étudier successivement ce qui s'est passé pour les deux bobines employées.

» *Petite bobine.* — On voit tout d'abord immédiatement que le calcul de la constante de temps obtenue par la considération de la résistance et de la self-induction seule ne suffit pas à expliquer les formes trouvées. En effet, on a dans les hypothèses admises en général

$$i = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right),$$

d'où

$$\frac{di}{dt} = \frac{E}{L} e^{-\frac{R}{L}t}$$

et $L \frac{di}{dt}$, qui est ce qu'on mesure en $a_2 b_2$, devrait partir, pour $t = 0$, de la valeur E . Or, sa valeur est loin de cela et elle n'atteint un

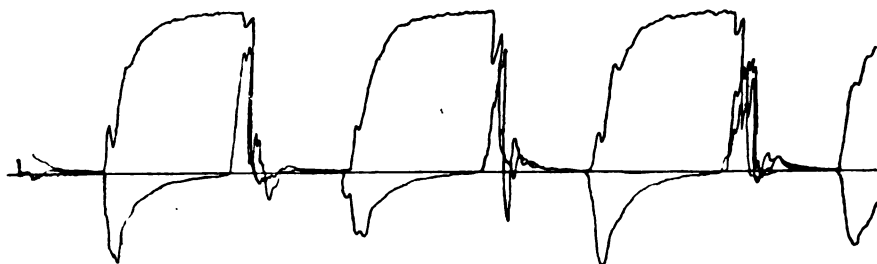


Fig. 2. — Petite bobine avec condensateur de 0,5 microfarad. Intensité efficace, 2 ampères. La courbe qui part au-dessus de l'axe des temps est la courbe des ampères, celle qui part au-dessous est celle des volts aux bornes du primaire.

maximum que longtemps après le début du phénomène, environ

⁽¹⁾ Dans toutes nos courbes, la plume décrivait un arc de circonférence de 16^{cm},6 de rayon. Les erreurs dues à l'inertie de la plume sont négligeables, elles seraient de l'ordre de $\frac{1}{4000}$ de seconde. Les traits doubles se rapportent à des courbes obtenues par deux tours de cylindre. Elles montrent l'ordre de régularité du phénomène.

$\frac{1}{2000}$ de seconde. D'ailleurs cet arc est décrit très lentement par la plume de l'oscillographe, il est donc obtenu sensiblement sans déformation. Donc, au moins au début, nous ne pouvons représenter les faits par l'emploi de la constante de temps.

» Peut-être une partie de ce retard est-elle due à ce que le contact même ne peut être absolument instantané. Cela est d'autant plus probable que, avec la grosse bobine, le temps qui s'écoule avant le maximum est à peu près le même. Il semble donc bien ne dépendre que de l'interrupteur.

» Avec cette petite bobine, nous ne pouvons être affirmatif sur l'existence d'oscillations du primaire aux petites intensités. Cependant, avec les fortes intensités et sur la courbe des volts aux bornes du primaire, il semble qu'il y ait une oscillation de 0,001 seconde environ dont la dernière ondulation est nettement contraire aux lois admises, car elle revient asymptotiquement vers le zéro (*fig. 2*).

» La courbe (*fig. 3*) de la différence de potentiel aux bornes du condensateur montre que le potentiel atteint un maximum environ

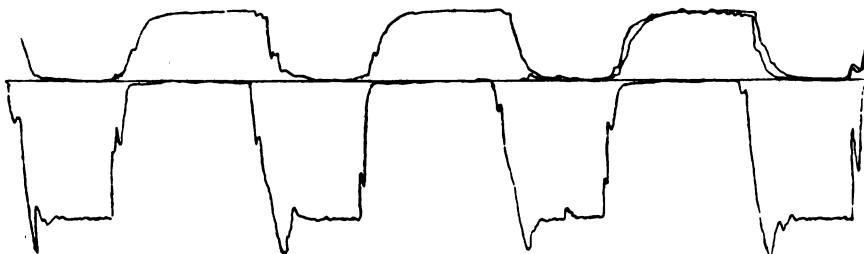


Fig. 3. — Petite bobine avec condensateur de 0,5 microfarad. Intensité efficace, 1 ampère. La courbe qui part au-dessus de l'axe des temps est celle des ampères, la courbe qui part au-dessous est celle de la différence de potentiel aux bornes du condensateur.

$\frac{1}{1000}$ de seconde après la rupture et qu'il met un temps à peu près égal à retomber à zéro au moment de la fermeture.

» L'examen des courbes montre que la régularité du fonctionnement de l'interrupteur est bien plus grande quand le condensateur est de 0,5 microfarad que quand il est de 1 microfarad.

» *Grosse bobine.* — Avec la grosse bobine, nous avons eu des résultats analogues, mais la période d'oscillation du primaire est plus longue, elle est aux environs de $\frac{1}{100}$ de seconde (*fig. 4*).

» Un fait cependant est à noter, c'est que la différence de potentiel aux bornes du condensateur (*fig. 5*) donne lieu à une courbe ondulatoire qui n'atteint jamais le zéro et qui est à peu près exactement

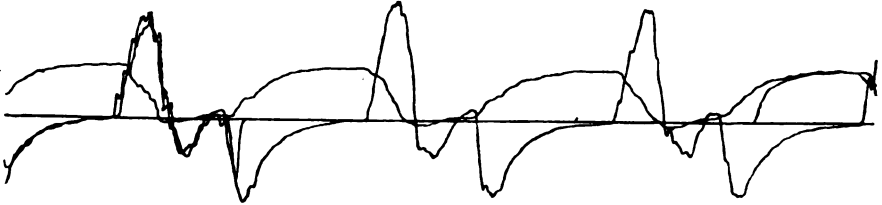


Fig. 4. — Grosse bobine avec condensateur de 5 microfarads. Intensité efficace, 0,5 ampère. La courbe qui part au-dessus de l'axe des temps est celle des ampères, la courbe qui part au-dessous de l'axe des temps est celle des volts aux bornes du primaire.

de même période que celle de la différence de potentiel aux bornes du primaire. Nous ne pouvons malheureusement pas savoir s'il y en

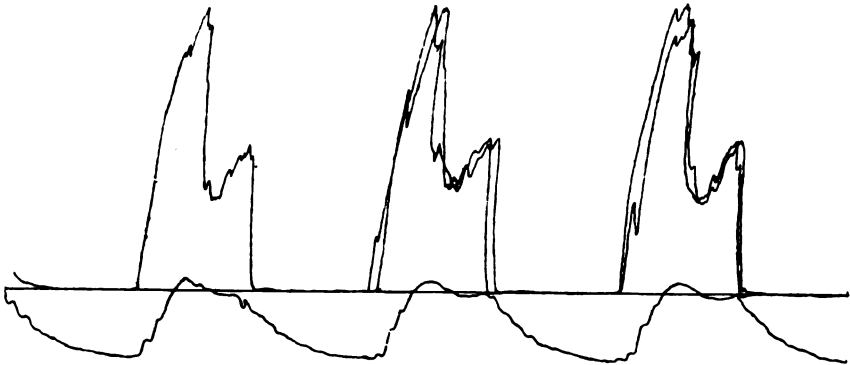


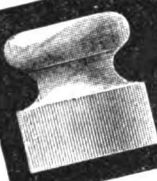
Fig. 5. — Grosse bobine avec condensateur de 5 microfarads. Intensité efficace, 0,7 ampère environ. La courbe inférieure est celle des ampères, la supérieure est celle de la différence de potentiel aux bornes du condensateur.

aurait plus de deux, car la disposition de l'interrupteur à mercure qui donne trois contacts par tour coupe le phénomène après deux oscillations. Je ne sais à quoi attribuer ces ondulations que l'ondographe a eu au moins le mérite d'être seul à pouvoir révéler. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Broca.

La Communication faite au cours de cette séance par M. R. Arnoux sur l'*Allumage des moteurs à explosion* sera publiée ultérieurement.

MANUFACTURE D'APPAREILS DE CHAUFFAGE



SOCIÉTÉ ANONYME DES ANCIENS ÉTABLISSEMENTS
PARVILLÉE FRÈRES & C^{IE}
CAPITAL 1.000.000 SE FRANCS
MANUFACTURE DE PORCELAINE & DE FERRURES POUR L'ÉLECTRICITÉ
Siège social : 29, RUE GAUTHEY, PARIS - TÉLÉPH. 510-72

ET DE
RÉSISTANCES ÉLECTRIQUES.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE L'ACCUMULATEUR TUDOR

Société anonyme. Capital : UN MILLION 600.000 francs.

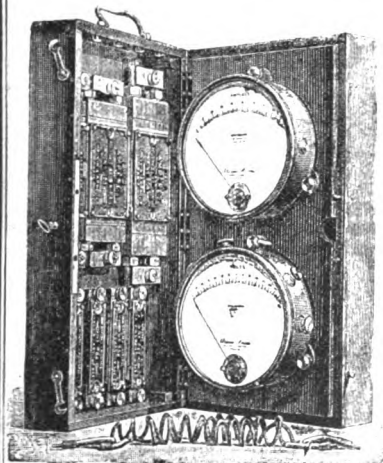
SIÈGE SOCIAL : 81, Rue Saint-Lazare, PARIS.

USINES : 39 et 41, Route d'Arras, LILLE.

INGÉNIEURS-REPRÉSENTANTS :
ROUEN : 2, place Carnot. — LYON : 406, rue de l'Hôtel-de-Ville.
NANTES : 7, rue Scribe. — TOULOUSE : 62, rue Bayard. — NANCY : 2 bis, rue Isabey.

Adresses télégraphiques :

TUDOR, Paris. — TUDOR, Lille. — TUDOR, Rouen. — TUDOR, Lyon. — TUDOR, Nantes.
TUDOR, Toulouse. — TUDOR, Nancy.



CAISSE DE CONTRÔLE

CHAUVIN & ARNOUX

INGÉNIEURS-CONSTRUCTEURS.

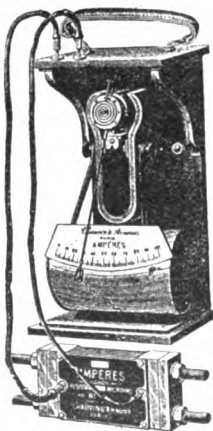
Bureaux et Ateliers :

186, Rue Championnet, 186,
PARIS.

Téléphone N° 525.52.

Voltmètres et Ampèremètres
ENREGISTREURS

de 0,1 volt à 3000 volts
et de 1 à 5000 ampères.



ENREGISTREUR.

ENVOI FRANCO, SUR DEMANDE, DU NOUVEAU TARIF SPÉCIAL AUX APPAREILS DE TABLEAU.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS, 55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS (6°).

Envoi franco dans toute l'Union postale contre mandat de poste ou valeur sur Paris.

PREMIERS PRINCIPES D'ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE

Piles. Accumulateurs. Dynamos. Transformateurs.

Par **Paul JANET**,

Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité.

5^{me} édition, revue et corrigée. In-8, avec 169 figures; 1903..... 6 fr.

CAHORS FRÈRES
CAHORS H. & C^{IE}, Succrs

Modéleurs-Mécaniciens

Fournisseurs du Ministère des Postes et Télégraphes

Fournisseurs de la Société Internationale des Électriciens,

Soumissionnaires au Ministère de la Marine.

MODÈLES POUR FONTE DE FER

Cuivre, Acier, Aluminium

MODÈLES POUR DÉMONSTRATIONS

FUMISTERIE, ROBINETTERIE

MODÈLES POUR AUTOMOBILES.

MENUISERIE EN TOUS GENRES

Dentage de Roues, Spécimens

MODÈLES MÉTALLIQUES

POULIES EN BOIS

Téléphone 720.98. — 4 bis, Rue de la Cavalerie. — PARIS.

Champ de Mars, XV^e arrondissement.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS, 55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS (6^e.)

Envoi franco dans toute l'Union postale contre mandat de poste ou valeur sur Paris.

LEÇONS
D'ÉLECTROTECHNIQUE GÉNÉRALE

PROFESSÉES A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ,

Par P. JANET,

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS,
DIRECTEUR DU LABORATOIRE CENTRAL ET DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

2^e Édition revue et augmentée. 2 volumes grand in-8 se vendant séparément.

TOME I : Généralités. Courants continus. Vol. de xii-369 pages, avec 166 fig.; 1904 44 fr.

TOME II : Courants alternatifs. (En préparation.)

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

POUR LA **PUBLICITÉ** S'ADRESSER A

M. CH. TESSIER

Agent Administratif de la Société.

Paris. — 12 & 14, rue de Staël. — Paris.

TÉLÉPHONE N° 708-68

Le dépouillement du scrutin pour le renouvellement partiel du Comité d'administration et la nomination de la Commission des Comptes étant terminé, M. le PRÉSIDENT proclame les résultats suivants :

Suffrages exprimés.....	259
Majorité.....	130

PRÉSIDENT :

Pour l'exercice 1905-1906.

MM.	Nombre de voix obtenues.
BOUTY (E.), Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.	259

VICE-PRÉSIDENTS :

Pour 3 ans.

BLONDEL (A.), Ingénieur du Service central des Phares, Professeur à l'École nationale des Ponts et Chaussées.....	258
GUILLAUME (Ch.-Éd.), Directeur adjoint du Bureau international des Poids et Mesures	258

Pour 2 ans.

CLÉMANÇON (E.), Président de la <i>Compagnie générale de Travaux d'éclairage et de force</i>	256
--	-----

TRÉSORIER :

VIOLET (L.), Ingénieur	259
------------------------------	-----

SECRÉTAIRES :

DAVID (Ch.), Chef de travaux au Laboratoire central d'Électricité...	258
LARNAUDE (E.), Administrateur-directeur de la <i>Compagnie fran- çaise pour la fabrication des lampes électriques à incandescence</i> .	258

MEMBRES :

MM.	<i>Pour 3 ans.</i>	Nombre de voix obtenues.
BOCHET (A.), Ingénieur en chef de la <i>Maison Sautter, Harlé et Cie.</i>		257
BONAPARTE (Prince ROLAND).....		257
BRACHOTTE (A.), Ingénieur de la <i>Maison Hillairet-Huguet</i>		257
BROCA (Docteur A.), Agrégé de la Faculté de Médecine.....		256
CAILLETET, Membre de l'Institut.....		259
COURTOIS (G.), Directeur des <i>Usines de constructions électriques à la Société industrielle des Téléphones</i>		257
CURIE (P.)		259
DARCQ (E.), Directeur au Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et Télégraphes.....		255
GAIFFE (G.), Ingénieur électricien		256
GOSSELIN (X.), Chef des travaux électriques à l'École centrale des Arts et Manufactures.....		258
LAPORTE (F.), Sous-directeur du Laboratoire central d'Électricité.....		257
LEBLANC (MAURICE)		259
MAUGAS (G.), Ingénieur en chef de la Marine		259
POINCARÉ (L.), Inspecteur général de l'Instruction publique		258
ROBARD (R.), Administrateur-délégué de la <i>Société l'Éclairage électrique</i>		256
SABOURET, Ingénieur en chef du matériel et de la traction à la <i>Compagnie de l'Ouest</i>		257

Pour 2 ans.

BRUNSWICK (E.), Ingénieur des Arts et Manufactures	254
--	-----

Pour 1 an.

ABRAHAM (H.), Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.....	254
BROCQ, Sous-directeur de la <i>Compagnie des compteurs et matériel d'usines</i>	254
KORDA (D.), Administrateur de la <i>Société française d'Électricité A.E.G.</i>	252

COMMISSION DES COMPTES :

ESCHWÈGE, Directeur de la <i>Société d'éclairage et de force par</i> <i>l'Électricité</i>	255
PELLISSIER (G.)	258
REY (J.), Ingénieur civil des Mines	257

M. E. HOSPITALIER, Président sortant, informe l'Assemblée que, par suite d'une indisposition de M. Pollard, retenu à la chambre, la remise formelle des pouvoirs n'aura lieu qu'en séance prochaine.

La séance est levée à 11^h 10^m du soir.

SITUATION FINANCIÈRE.

COMPTES DE L'EXERCICE 1903.

CRÉDIT.	fr	DÉBIT.	fr
1. — <i>Services généraux.</i>			
Cotisation libérée.....	250,00	Bulletin	13415,18
Cotisations de l'exercice.....	23590,00	Frais d'administration	1667,60
Intérêts.....	1540,83	Personnel.....	7190,00
Produits du Bulletin.....	7734,85	Frais de correspondance.....	890,60
Dons avec affectations spéciales.....	1360,05	Frais de réunions.....	772,50
Profits et pertes.....	528,89	Subvention au Laboratoire.....	4000,00
Dons d'Ouvrages divers.....	590,00	Entretien de la bibliothèque.....	1048,95
Intérêts du legs Hughes.....	1500,00	PlACEMENT au fonds social.....	250,00
	37091,62	Bourse Hughes.....	2000,00
		Mobilier.....	900,00
		Amortissement :	
		Bibliothèque	590,00
		Solde créditeur.....	4369,79
			37091,62

II. — *Laboratoire.*

	fr		fr
Subvention de la Société.	4000,00	Frais d'opérations et essais :	
Arrrages de la rente....	7903,00	Machine à vapeur et moteur	
Redevances pour essais		à gaz.....	5115,80
et étalonnements.....	33218,25	Produits.....	950,30
Redevances des élèves et		Atelier.....	597,20
tiers.....	3456,75	Déplacement du personnel.	1228,15
Intérêts des fonds placés .	225,00	Personnel.....	7891,45
Dons en nature.....	120,00	Frais d'administration :	
Amortissement :		Frais de bureau, correspon-	
Ministère du Commerce.	5000,00	dance et divers.....	1650,50
		Coke.....	335,30

disponibles.....	236,25	56169,25
Eau, électricité.....	1189,40	
Téléphone.....	409,40	
Loyer, impôts, assurances...		5321,85
Entretien des bâtiments.....		744,65
Entretien des machines et appareils.....		855,25
Expériences et recherches...		1913,10
Acquisition d'instruments et matériel.....		505,55
Amortissement :		8093,50
Constructions.....	5000,00	
Instruments et matériel...	120,00	
		^{fr} 56169,25

III. — École.

Redevances des élèves...	^{fr} 79650,00	
Souscriptions.....	13000,00	
Intérêts des fonds placés.	602,56	
Dons de divers.....	69,68	
Profits et portes.....	429,00	
Prélèvements sur fonds disponibles.....	32462,36	
	<u>126213,60</u>	
	219477,45	
Personnel.....		^{fr} 42285,60
Travaux des élèves :		
Machine à vapeur et moteur à gaz.....	2904,00	
Produits.....	1628,35	
Atelier.....	4461,20	
Frais de conférences, vi-sites d'usines, etc.....	6851,80	
Frais d'administration :		
Frais de bureau, correspon-dance et divers.....	2433,25	
Chauffage et éclairage.....	2799,65	
Entretien des bâtiments.....		5232,90
Entretien des machines et ap-parcils.....		1662,75
Impôts, assurances.....		2319,05
Intérêts de l'emprunt.....		841,50
Amortissement de l'emprunt.		930,00
Acquisition d'instruments et matériel.....		3000,00
Ville de Paris.....		^{fr} 4036,45
		<u>126213,60</u>
		219477,45

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1903.

ACTIF.	PASSIF.
I. — Société.	
Fonds social (valeur au 31 décembre 1903) :	
45 obl. P.-L.-M. fusion nouvelle	fr
11 obl. Est 3 %	20261,25
4 obl. Ouest-Algér. 3 %	4928,00
286 ^{re} de rente 3 %	1762,00
Espèces	9261,65
	fr
	61,85
Fonds disponibles (valeur au 31 décembre 1903) :	36274,75
274 ^{re} de rente 3 %	8873,05
42 obl. S. I. E.	4200,00
Caisse et banquier	13073,05
Legs Hughes (valeur au 31 décembre 1903) :	1710,55
1500 ^{re} de rente 3 %	48575,00
Cotisations à toucher	3243,00
Bibliothèque	12852,95
Mobilier	1900,00
Compte d'ordre	3357,58
	fr
	120986,88
II. — Laboratoire.	
Constructions	fr
Bibliothèque	252976,83
Instruments et matériel	2975,40
Fonds disponibles (valeur au 31 décembre 1903) :	165747,34
390 ^{re} de rente 3 %	12629,50
Caisse et banquier	6264,14
Débiteurs divers	961,80
	fr
	120986,88
Solde des frais de publication.	
Cotisations anticipées	fr
Bourse Hughes	797,98
Solde des dons avec affectations spéciales	272,68
	1975,00
	fr
	1464,70
	4510,36
Ministère du Commerce.	
Créditeurs divers	fr
	50000,00
	14232,90
	64232,90

BIBLIOGRAPHIE.

Recherches sur les substances radioactives, par M^{me} S. CURIE; 1 vol.
Paris, Gauthier-Villars; 1904.

L'auteur, désormais célèbre, de cet Ouvrage y expose les recherches qu'elle a poursuivies depuis plus de quatre ans, avec son mari, sur les substances radioactives, thèse qu'elle a présentée à la Faculté des Sciences de Paris pour obtenir le grade de Docteur ès Sciences physiques et qui constitue un Mémoire d'ensemble sur l'état actuel de la question.

C'est donc un Ouvrage de haute actualité scientifique, que tous les physiciens tiendront à posséder et qui recevra partout l'accueil empressé dont le grand public a salué les premières manifestations de l'élément nouveau : le *radium* aux mystérieuses propriétés.

Dans une courte mais suggestive introduction, M^{me} Curie retrace les préliminaires de la découverte du nouveau corps simple et fait un rapide historique de la question. Elle entre alors dans le vif du sujet en analysant les caractères de la radioactivité propre à l'uranium, au thorium et à divers minéraux, analyse qui l'a conduite à penser que si certaines substances sont douées d'une activité si prononcée c'est qu'elles renfermaient une matière d'une plus puissante radioactivité dont il ne lui a pas paru impossible de tenter l'extraction.

C'est ainsi que, basant leur méthode de recherches sur la radioactivité même, M. et M^{me} Curie parvinrent à établir l'existence, au sein de la pechblende, du polonium et du radium.

L'auteur indique ensuite les procédés qu'ils mirent en œuvre pour étudier le rayonnement des nouvelles substances, leur énergie et leur nature complexe, les phénomènes auxquels ils donnent lieu, l'action du champ magnétique, etc. Après avoir traité de l'induction radioactive, elle termine cet exposé magistral par l'examen de la nature et de la cause des phénomènes de radioactivité.

Phénomènes fondamentaux des principales applications du courant alternatif, par M. R. SWYNGEDAuw, professeur-adjoint, chargé de l'enseignement électrotechnique à l'Université de Lille.

Cet Ouvrage est la reproduction des cours professés à Lille par M. Swyngedauw et destinés plus particulièrement aux étudiants, aux Ingénieurs et à tous ceux qui, possédant déjà des notions générales soit techniques, soit pratiques en électricité, veulent entreprendre l'étude du courant alternatif et en comprendre, avec le minimum de peine et de temps, les phénomènes fondamentaux et les principales applications.

Tel était le but poursuivi par l'auteur et qu'il a pleinement atteint.

L'emploi de plus en plus étendu du courant alternatif suscite l'attention d'un public chaque jour plus nombreux mais qu'effraye souvent l'appareil mathématique hérissé de complications apparentes, dont forcément ont dû faire usage les professeurs et les inventeurs qui ont institué la synthèse de cette science. Il appartient donc bien aux Maîtres d'une École plus jeune, qui ont eux-mêmes connu et apprécié les difficultés des anciennes méthodes, de rendre celles-ci plus aisément accessibles à leurs élèves.

Grâce aux principes d'analyse puisés dans un enseignement profond, nous voyons dans le présent volume le résultat heureux de tels efforts.

L'Ouvrage est divisé en quatre Parties que précède une introduction.

Dans celle-ci, l'auteur condense les définitions et principes généraux relatifs au travail, à la puissance, à l'énergie et à ses états et aux systèmes d'unités.

La première Partie traite des phénomènes fondamentaux du courant électrique et des relations entre le champ magnétique et le courant électrique.

Dans la deuxième Partie l'auteur aborde les propriétés générales du courant alternatif et développe ce sujet en faisant abstraction de la forme des courants.

La troisième Partie est consacrée aux alternateurs et moteurs et aux principaux modes de distribution.

Enfin la quatrième et dernière Partie est réservée à l'étude des transformateurs et convertisseurs de tout genre.

En résumé, excellent Ouvrage et d'une assimilation facile dont nous devons féliciter l'auteur.

L'édition, élégante et soignée, accompagne bien la substance qu'elle contient.

Recueil d'expériences élémentaires de Physique, publié avec la collaboration de nombreux physiciens, par M. HENRI ABRAHAM, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, Secrétaire général de la Société française de Physique. Première Partie : *Travaux d'atelier. Géométrie et Mécanique. Hydrostatique. Chaleur.*

Les Ouvrages de *Récréations mathématiques ou physiques* n'étaient pas rares dans les siècles derniers et les exemplaires qu'on en retrouve aujourd'hui sont fort prisés des bibliophiles et des savants. Ce genre de publication est rappelé à l'esprit par le *Recueil d'expériences* que nous donne M. Abraham, au profit de la Société française de Physique, dont un grand nombre de membres ont participé à la documentation de l'Ouvrage.

Le premier Volume, qui nous occupe ici, en dehors de notions concernant les travaux d'atelier et d'un grand nombre de recettes, traite des expériences ou manipulations relatives à la Géométrie, à la Mécanique, à l'Hydrostatique et à la Chaleur.

Les expériences citées ont été choisies et exposées avec le souci particulier d'une réalisation précise par des moyens toujours simples et ce n'est pas l'un des moindres charmes du Recueil.

A côté de cette question d'ordre pratique, l'attention s'attache forcément au sens critique que l'auteur n'a pas manqué de chercher à susciter à tout instant, indiquant, dans chaque cas, l'ordre de grandeur des choses, l'importance des erreurs et la précision des mesures.

Outre les services que ce Recueil devra rendre aux étudiants comme aux expérimentateurs et aux professeurs dans leurs travaux, les physiciens et les électriciens tien-

dront à posséder un Ouvrage aussi attrayant dans sa forme simple et dont la lecture provoque un vif et réel plaisir qui fait impatiemment attendre la publication du second Volume.

Manuel pratique du monteur électricien, par M. J. LAFFARGUE.

Le succès appelle le succès, surtout quand il est légitime. Aussi est-ce sans surprise que la septième et nouvelle édition de cet Ouvrage peut se recommander à l'attention des électriciens monteurs et, en général, des praticiens, qui trouveront dans le Manuel de M. Laffargue de très nombreux documents.

Essais des métaux. Théorie et pratique, par M. L. GAGES,
Chef d'escadron d'artillerie.

Continuant la série de ses Ouvrages concernant les métaux et la métallurgie dans l'*Encyclopédie scientifique des Aide-mémoire*, où ils comptent parmi les plus appréciés, M. L. Gages traite cette fois de la théorie et de la pratique des essais.

Le présent Volume comporte deux titres :

Dans le premier sont analysés les principaux travaux et les expériences fondamentales relatifs à la science des essais.

Le second titre fait connaître les diverses méthodes d'essais des métaux employées dans la pratique.

Les considérations théoriques exposées au cours du premier titre concernent spécialement l'essai de traction, qui est le plus connu, d'où l'auteur déduit l'examen des déformations produites par les autres genres d'efforts.

L'étude des théories récentes ayant trait à la distribution des déformations permet d'aborder l'examen des notions actuelles relatives à l'élasticité.

Le titre II passe en revue les essais mécaniques au cours de la fabrication et, postérieurement à celle-ci, l'établissement des éprouvettes et les spécifications générales des cahiers de charges.

Nous pensons qu'il n'était pas possible de mieux présenter la valeur de l'Ouvrage qu'en y puisant pour ainsi dire intégralement l'analyse des deux titres telle qu'elle est donnée par l'auteur lui-même. Les lecteurs que les questions si complexes et importantes de l'emploi des métaux intéressent ne seront pas déçus et trouveront dans ce Volume, malgré sa forme condensée, des enseignements aussi nombreux que précieux.

Du choix d'une carrière industrielle, par Paul BLANCARNAUX.

Ce Volume s'adresse comme documentation et conseils aux jeunes gens se destinant aux écoles industrielles ou en sortant, principalement au titre des écoles d'Arts et Métiers.

Dans une vigoureuse préface, le styliste qu'est Paul Adam conseille aux débutants dans la carrière industrielle l'expatriation et la colonisation fécondes.

L'Électricité agricole, par M. E. GUARINI; 1 vol. Lausanne, Société suisse d'édition. Paris, Fischbacher; 1904.

L'auteur a résumé dans ce travail un grand nombre de faits, disséminés dans les publications périodiques ou faisant l'objet de Mémoires isolés, concernant les applications de l'électricité à l'agriculture : l'électroculture proprement dite et les diverses méthodes qui lui sont applicables, le labourage électrique, la destruction des insectes nuisibles; le traitement électrique des vins, des alcools, des huiles, etc.; puis celles qui ont trait aux industries annexes et à la météorologie agricole.

En regrettant, dans sa conclusion, que l'agriculture ne soit pas de ce chef aussi favorisée que l'industrie, il constate que l'électroculture n'est pas encore entrée dans une phase pratique et que la mise en mouvement des machines agricoles n'est avantagieuse que pratiquée sur une grande échelle; mais il prévoit le jour où une évolution normale permettra de généraliser l'application de l'électricité aux travaux des champs comme à tous les besoins du cultivateur.

Utilisation pratique et complète d'une chute d'eau pour tous les services d'une installation minière, par M. LECOMTE-DENIS; 1 vol. Paris, V^e Ch. Dunod.

La transformation de la force motrice qui va résulter de l'utilisation rationnelle de la *Houille blanche* réclamait un guide pratique et simple pour éclairer, par des données précises, « quiconque ayant une chute de moyenne importance à sa disposition désire en faire l'application complète et l'utiliser au mieux avec le minimum de frais ».

Tel est le but que s'est proposé l'auteur de cet Ouvrage en étudiant toutes les conditions ou particularités qui peuvent se présenter dans la nature, avec l'objectif constant de l'utilisation pratique, ainsi que tous les organes utiles ou nécessaires à une judicieuse exploitation; des exemples très simples et à la portée de tout le monde montrent comment, avec l'électricité, on pourrait transporter au loin cette énergie hydraulique.

A la suite de ces considérations générales, l'auteur examine et résout les difficultés que peut rencontrer l'exécution des divers projets et envisage le cas d'une application aux services d'une mine, exemple à l'aide duquel il devient facile de dresser un devis très approché de toute exploitation du même genre.

On sait d'ailleurs qu'un Congrès s'est réuni dont les résultats sont déjà tangibles et qu'une Commission extra-parlementaire étudie soigneusement toutes les questions si délicates que soulève pareille matière.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

France.

- Applications (Les) des aciers au nickel, avec un Appendice sur la théorie des aciers au nickel*, par CH.-ÉD. GUILLAUME. Paris, Gauthier-Villars, 1904; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'Auteur et de l'Éditeur.*)
- Conférences de l'École supérieure d'Électricité. Essais industriels des machines électriques et des groupes électrogènes*, par F. LOPPÉ. Paris, Gauthier-Villars, 1904; 1 vol. grand in-8°, broché. (*Don de l'Éditeur.*)
- Éclairage. Huiles, alcool, gaz, électricité. Photométrie*, 2^e édition, par L. GALINÉ et B. SAINT-PAUL. Paris, V^{re} Ch. Dunod, 1904; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'Éditeur.*)
- Entreprises (Les) de distribution d'énergie électrique. Législation et jurisprudence*, par RAYMOND SÉE. Paris, Arthur Rousseau, 1903; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'Éditeur.*)
- Manipulations et études électrotechniques. Manuel pratique à l'usage des ingénieurs électriciens et des élèves des écoles techniques*, par L. BARBILLION. Paris, V^{re} Ch. Dunod, 1904; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'Éditeur.*)
- Précis d'Électricité médicale. Ouvrage de principe, synthétique et pratique*, par CH. CHARDIN. Paris, A. Maloine et chez l'Auteur, 1904; 1 vol. petit in-8°, broché. (*Don de l'Auteur.*)
- Recherches sur l'effet magnétique des corps électrisés en mouvement (Thèse de doctorat ès sciences physiques)*, par N. VASILESCO-KARPEN. Paris, Gauthier-Villars, 1904; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'Auteur.*)
- Télégraphie (La) sans fil*. 2^e édition, revue et augmentée, par ANDRÉ BROCA. Paris, Gauthier-Villars, 1904; 1 vol. in-18 jésus, broché. (Collection des *Actualités scientifiques.*) (*Don de l'Éditeur.*)
- Théorie (La) de Maxwell et les oscillations hertziennes. La Télégraphie sans fil*, par H. POINCARÉ. Paris, C. Naud, 1904; 1 vol. in-8° écu, cartonné. (Collection *Scientia.*) (*Don de l'Éditeur.*)
- Bibliothèque de l'ouvrier électricien*, par R. WITTEBOLLE. I. *La dynamo*. II. *Les accumulateurs*. III. *Les moteurs électriques*. IV. *Les canalisations électriques*. Paris, H. Desforges, 1901-1904; 4 vol. petit in-8°. (*Don de l'Éditeur.*)

Étranger.

Der Elektronäther. Beiträge zu einer neuen Theorie der Elektrizität und Chemie, von R.-T. BÜRGI. Berlin, W. Junk, 1904; 1 brochure in-8°. (*Don de l'Éditeur.*)

Liste des Ouvrages offerts par M. Gauthier-Villars, Éditeur.

Abrégé du grand Dictionnaire de Technologie. Nouveau Dictionnaire universel des Arts et Métiers et de l'Économie industrielle et commerciale, par MM. FRANCOEUR, ROBIQUET, PAYEN et PELOUZE. A Paris, chez Thomine, 1833-1837; 6 vol. in-8° et 1 atlas in-4°, cartonné, de 66 planches.

Accumulateurs électriques, par M. F. LOPPE. 2^e édition, entièrement refondue. Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^{ie}, s. d. (1901); 1 vol. in-16, cartonné toile. (*Encycl. scientifique des Aide-Mémoire.*)

Actinomètre totalisateur absolu, par M. G.-A. HIRN. Paris, Gauthier-Villars, 1884; in-4°. (Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 11 février 1884).

Actinométrie, par M. R. RADAU. Paris, Gauthier-Villars, 1877; 1 vol. in-18, broché. (*Collection des Actualités scientifiques.*)

Athanasii Kircheri e soc. Jesu Mundus subterraneus, par M. A. KIRCHER. In XII Libros digestus.... Editio tertia. Amstelodami, apud Joannem Janssonium, à Waesberge et Filios, 1678; 2 tomes reliés en 1 vol. in-folio (figures et planches hors texte).

Athanasii Kircheri Fuldensis soc. Jesu presbyteri Musurgia universalis sive Ars magna consoni et dissoni, par M. A. KIRCHER. Tomus II. Romae, typis Ludovici Grignanis, 1650; 1 vol. in-folio, relié basane pleine (figures et planches hors texte).

Chaleur et froid. Six leçons faites devant un jeune auditoire, par M. JOHN TYNDALL. Traduites de l'anglais par M. l'abbé MOIGNO. 2^e édition. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1889; 1 vol. in-18 jésus, broché. (*Collection des Actualités scientifiques.*)

Chimie organique fondée sur la synthèse, par MARCELLIN BERTHELOT. Paris, Mallet-Bachelier, 1860; 2 vol. grand in-8°, brochés.

Comparaison des coefficients d'induction, par MARCEL BRILLOUIN. Paris, Gauthier-Villars, 1882; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)

Conférences sur quelques-uns des progrès récents de la Physique, par P.-G. TAIT. Traduit de l'anglais, sur la 3^e édition, par M. KROUCKOLL. Paris, Gauthier-Villars, 1887; 1 vol. grand in-8°, broché.

Construction des lignes électriques aériennes, par A. BOUSSAC. Cours complété par E. MASSIN. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894; 1 vol. grand in-8°, broché.

- Contribution à l'étude des fluorures anhydres et cristallisés*, par M. C. POULENC. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1898; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Contributions à l'étude des propriétés physiques et chimiques de minéraux microscopiques*, par M. J. THOULET. Paris, Gauthier-Villars, 1880; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Cours de Mécanique appliquée*, par M. MAHISTRE. Paris, Mallet-Bachelier, 1858; 1 vol. in-8°, relié.
- Cours de Physique mathématique*, par M. ÉMILE MATHIEU. Paris, Gauthier-Villars, 1873; 1 vol. in-4°, relié. (*Traité de Physique mathématique*, vol. I.)
- De l'influence de la température sur l'aimantation*, par M. BERTSON. Paris, Gauthier-Villars, 1886; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Dictionnaire raisonné de Physique*, par M. J. BRISSON. 2^e édition. Paris, Librairie économique, an VIII; 6 vol. in-8°, avec 1 atlas in-4°, reliés.
- Différence de potentiel des couches électriques qui recouvrent deux métaux en contact*, par M. H. PELLAT. Paris, Gauthier-Villars, 1881; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Discussions sur les principes de la Physique. Examen critique des principales théories ou doctrines admises ou émises en cette science et explications proposées*, par F. COYTEUX. Paris, Mallet-Bachelier, 1864; 1 vol. in-8°, broché (2 pl. hors texte).
- Électricité et Magnétisme*, par FLEEMING JENKIN. Traduit de l'anglais, sur la 8^e édition, par M. H. BERGER et M. CROULLEBOIS. Paris, Gauthier-Villars, 1885; 1 vol. in-8° broché.
- Esquisse élémentaire de la théorie mécanique de la chaleur et de ses conséquences philosophiques*, par G.-A. HIRN. Colmar, Camille Decker, 1864; 1 vol. gr. in-8°, broché. (Extr. du *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Colmar*, 4^e année.)
- Essai d'un cours élémentaire et général des sciences physiques*, par F.-S. BEUDANT. Partie physique. 2^e édition. Paris, chez Verdier, 1821; 1 vol. in-8°, relié (5 planches hors texte).
- Essai sur le pouvoir refroidissant des gaz*, par CH. RIVIERE. Paris, Gauthier-Villars, 1884; 1 vol. in-4°, 52 pages. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Essai théorique et expérimental sur le galvanisme, avec une série d'expériences...*, par JEAN ALDINI. Paris, de l'imprimerie de Fournier fils, 1804; 2 vol. in-8°, reliés (planches hors texte).
- Étude expérimentale de la dispersion et de la réfraction des gaz*, par M. F. PERREAU. Paris, Gauthier-Villars, 1895; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Étude expérimentale sur l'absorption de la lumière par les cristaux*, par

- M. Charles CAMICHEL. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1895; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Étude expérimentale sur les phénomènes d'induction électrodynamique*, par M. L. MOUTON. Paris, Gauthier-Villars, 1876; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Étude spectroscopique sur l'ozone*, par M. J. CHAPPUIS. Paris, Gauthier-Villars, 1882; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Étude sur les bandes telluriques α , β et λ du spectre solaire*, par M. A. CORNU. Paris, Gauthier-Villars, 1886; in-8°.
- 1° *Étude sur les couches électriques doubles*. — 2° *Variation du coefficient de frottement produite par la polarisation voltaïque*, par M. Michel KROUCKOLL. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1889; 1 vol. in-8° broché.
- Étude sur les courants interrompus*, par M. Gustave ROGER. Paris, Gauthier-Villars, 1872; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Études sur le magnétisme*, par M. E. BOUTY. Paris, Gauthier-Villars, 1874; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Études sur les moteurs à gaz tonnant*, par M. Aimé WITZ. Paris, Gauthier-Villars, 1884; 1 vol. in-8°.
- Faraday inventeur*, par M. John TYNDALL. Traduite de l'anglais par M. l'abbé MOIGNO. Paris, au bureau du journal *Les Mondes* et chez Gauthier-Villars, 1868; 1 vol. in-18 jésus, broché.
- Instruction sur le thermomètre métallique de MM. Breguet père et fils...*, par M. de PRONY. Paris, 1822; in-4° (1 planche hors texte).
- Introduction à l'étude de la Thermodynamique*, par R. BLONDLOT. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1888; 1 vol. gr. in-8°, relié.
- Introduction à la théorie de l'énergie*, par E. JOUFFRET. Paris, Gauthier-Villars, 1883; 1 vol. in-8°, broché.
- La chaleur, mode de mouvement*, par John TYNDALL. 3^e édition française, traduite de l'anglais, sur la 4^e édition, par M. l'abbé MOIGNO. Paris, Gauthier-Villars, 1901; 1 vol. petit in-8°, broché.
- La lumière*. Cours de neuf leçons, suivi d'une Conférence sur le rôle scientifique de l'imagination, par John TYNDALL. Traduit de l'anglais par l'abbé RAILLARD, revu par l'abbé MOIGNO. 2^e édition. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1889; 1 vol. in-18 jésus, broché. (Collection des *Actualités scientifiques.*)
- La machine de Gramme*. Sa théorie et sa description, par Antoine BREGUET. Paris, Gauthier-Villars, 1880; 1 vol. in-18 jésus, cartonné toile. (Collection des *Actualités scientifiques.*)
- La Musique et l'Acoustique*. Aperçu général sur leurs rapports et sur leurs dissemblances, par G.-A. HIRN. Paris, Gauthier-Villars, 1878; 1 vol. in-8°, broché. (Extrait de la *Revue d'Alsace.*)
- La Spectroscopie*, par A. CAZIN. Paris, Gauthier-Villars, 1878; 1 vol. in-18 jésus, broché. (Collection des *Actualités scientifiques.*)

- La Thermodynamique et ses principales applications*, par J. MOUTIER. Paris, Gauthier-Villars, 1885; 1 vol. in-8°, broché.
- Leçons de Physique expérimentale*, par M. l'abbé NOLLET. 8^e édition. Paris, chez Durand Neveu, libraire, 1775; 6 vol. in-12, reliés.
- Leçons élémentaires d'Acoustique et d'Optique...*, par Ch. FABRY. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1898; 1 vol. in-8°, broché.
- Leçons sur l'Électricité*, professées à l'Institution royale de la Grande-Bretagne, par John TYNDALL. Traduites de l'anglais par R. FRANCISQUE-MICHEL. 2^e édition. Paris, Gauthier-Villars, 1885; 1 vol. in-18 jésus, broché. (Collection des *Actualités scientifiques*.)
- Le gaz et l'électricité comme agents de chauffage*, par M. le Dr C.-W. SIEMENS. Traduit par M. Gustave RICHARD. Paris, Gauthier-Villars, 1881; 1 vol. in-18 jésus, broché. (Collection des *Actualités scientifiques*.)
- Les poussières de l'air*, par Gaston TISSANDIER. Paris, Gauthier-Villars, 1877; 1 vol. in-18 jésus, broché. (Collection des *Actualités scientifiques*.)
- Les unités électriques de mesure*, par sir William THOMSON. Traduit par M. Gustave RICHARD. Paris, Gauthier-Villars, 1884; 1 vol. in-18 jésus, broché. (Collection des *Actualités scientifiques*.)
- Lois et origines de l'électricité atmosphérique*, par Luigi PALMIERI. Traduit de l'italien par Paul MARCILLAC et A. BRUNET. Paris, Gauthier-Villars, 1885; 1 vol. in-8°, broché.
- L'ozone*. Ce qu'il est, ses propriétés physiques et chimiques, son existence et son rôle dans la nature. Analyse des recherches et des travaux dont il a été l'objet. Paris, librairie des *Mondes* et Gauthier-Villars, 1878; 1 vol. in-18 jésus, broché. (Collection des *Actualités scientifiques*.)
- Manuel d'Électricité dynamique*, par J.-F. DEMONFERRAND. Paris, Bachelier, 1823; 1 vol. in-8°.
- Mélanges de Physique et de Chimie pures et appliquées*, par M. l'abbé MOIGNO. Paris, au bureau du journal *Les Mondes* et chez Gauthier-Villars, 1869; 1 vol. in-18 jésus, broché. (Collection des *Actualités scientifiques*.)
- Mémoire sur la théorie de la lumière*, par M. Augustin-Louis CACHY. A Paris, chez de Bure frères, 1830; in-8°.
- Mesures des tensions superficielles dans les liquides en liquéfaction*, par E. GOSSART. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1889; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques*.)
- Notions sur la théorie de l'élasticité*, par E. SARRAU. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1889; 1 vol. in-8°, broché.
- Nouvelle détermination du rapport ϵ entre les unités électrostatiques et électromagnétiques*, par D. HURMUZESCU. Paris, Gauthier-Villars, 1896; in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques*.)
- Nouvelle théorie du Soleil*. Conservation de l'énergie solaire, par le Dr C.-W. SIEMENS. Traduit par M. Gustave RICHARD. Suivi d'une Note sur la reconcentration de l'énergie de l'Univers, par le professeur W.-J.

- MACQUORN RANKINE. Paris, Gauthier-Villars, 1882; 1 vol. in-18 jésus, broché. (Collection des *Actualités scientifiques*.)
- Observations des phénomènes périodiques*, par M. Ad. QUÉTELET. Bruxelles, M. Hayez, s. d. [1843]; 1 vol. in-4°, relié. (Extrait du Tome XVII des *Mémoires de l'Académie royale de Bruxelles*.)
- Optique moléculaire*, Effets de précipitation, de décomposition, d'illumination produits par la lumière, recueillis et publiés par M. l'abbé MOIGNO. Paris, au bureau du journal *Les Mondes* et chez Gauthier-Villars, 1873; 1 vol. in-18 jésus, broché. (Collection des *Actualités scientifiques*.)
- Physique et Physique du Globe*. Divers Mémoires de MM. TYNDALL, CARPENTER, RAMSAY, Raphaël DE ROSSI et Félix PLATEAU. Traduit par M. l'abbé MOIGNO. Paris, librairie des *Mondes* et Gauthier-Villars, 1875; 1 vol. in-18 jésus, broché. (Collection des *Actualités scientifiques*.)
- Pouvoir rotatoire du quartz dans l'infra-rouge* (1^{re} Thèse : Physique), *Variation de la biréfringence du quartz avec la direction de la compression* (2^e Thèse : Minéralogie), par R. DONGIER. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1898; 1 vol. in-8°, broché. (Thèses de Doctorat ès sciences physiques.)
- Problèmes de Physique, de Mécanique, de Cosmographie, de Chimie...* par Edme JACQUIER. Paris, Gauthier-Villars, 1884; 1 vol. in-8°, broché.
- Programme d'un Cours en sept leçons sur les phénomènes et les théories électriques*, par M. John TYNDALL. Traduit de l'anglais par M. l'abbé RAILLARD, revu par M. l'abbé MOIGNO. Paris, Gauthier-Villars, 1881; 1 vol. in-18 jésus, broché. (Collection des *Actualités scientifiques*.)
- Projet de stations centrales d'énergie mécanique*, par MM. G. ZWEIFEL, R. HOFFMANN, E. DESROZIERS, BURGHARDT frères et LANHOFFER. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1893; 1 vol. gr. in-8°, broché. (Mémoires couronnés par la Soc. ind. de Mulhouse.)
- Recherches chimiques et calorimétriques sur quelques combinaisons haloïdes du platine*, par M. Léon PIGEON. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1893; 1 vol. in-8°, broché. (Thèse de Doctorat ès sciences physiques.)
- Recherches expérimentales d'Électricité statique*, par Alfred ANGOT. Paris, Gauthier-Villars, 1874; 1 vol. in-4°. (Thèse de Doctorat ès sciences physiques.)
- Recherches expérimentales sur la double réfraction accidentelle*, par M. J. MACÉ DE LÉPINAY. Paris, Gauthier-Villars, 1879; 1 vol. in-4°. (Thèse de Doctorat ès sciences physiques.)
- Recherches expérimentales sur les lois de Ohm et leurs applications aux essais électriques des câbles sous-marins*, par Jules RAYNAUD. Paris, A. Parent, 1870; 1 vol. in-4°. (Thèse de Doctorat ès sciences physiques.)
- Recherches expérimentales sur les tuyaux sonores de forme conique*, par J.-F. BOUFEL. Paris, Gauthier-Villars, 1871; 1 vol. in-4°. (Thèse de Doctorat ès sciences physiques.)

- Recherches photométriques sur le spectre de l'hydrogène*, par M. H. LAGARDE, Paris, Gauthier-Villars, 1884; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Recherches photométriques sur les flammes colorées*, par M. GOUV. Paris, Gauthier-Villars, 1879; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Recherches sur l'absorption et la dispersion de la lumière par les milieux doués du pouvoir rotatoire*, par A. COTTON. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1896; 1 vol. in-8°, broché. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Première thèse : *Recherches sur l'action chimique de l'étincelle d'induction de l'appareil Ruhmkorff*. — Seconde thèse : *Sur la nature de l'étincelle d'induction de l'appareil Ruhmkorff*, par M. Adolphe PERROT. Paris, Mallet-Bachelier, 1861; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Recherches sur la polarisation rotatoire magnétique*, par M. E. BICHAT. Paris, Gauthier-Villars, 1873; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Recherches sur la polarisation rotatoire magnétique dans le spath d'Islande*, par M. CHAUVIN. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1889; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Recherches sur les agents explosifs modernes et sur leurs applications récentes*, recueillies et résumées par M. l'abbé MOIGNO. Paris, au bureau du journal *Les Mondes* et chez Gauthier-Villars, 1872; 1 vol. in-18 jésus, broché. (*Collection des Actualités scientifiques.*)
- Recherches sur les tuyaux d'orgue à cheminée*, par M. E. GRIPON. Angers, Imprimerie de Cosnier et Lachèse, 1864; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Recherches thermiques sur les sélénures*, par M. Charles FABRE. Paris, Gauthier-Villars, 1886; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Remarques relatives à une critique de M. G. Zeuner*, par M. G.-A. HIRN. Paris, Gauthier-Villars, 1883; in-4°.
- Sur la polarisation de la lumière diffusée par le verre dépoli*, par M. A. LAFAY. Paris, Gauthier-Villars, 1898; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Sur la polarisation elliptique des rayons réfléchis et transmis par les lames métalliques minces*, par M. G. MESLIN. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1890; 1 vol. in-4°. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Sur la radiation*, par M. John TYNDALL, Ouvrage traduit de l'anglais par M. l'abbé MOIGNO. Paris, Gauthier-Villars, 1884; 1 vol. in-18 jésus, broché. (*Collection des Actualités scientifiques.*)
- I. Thèse d'Astronomie. — *Sur l'attraction*. II. Thèse de Mécanique. — *Sur la distribution de l'électricité sur deux sphères conductrices mises en*

- présence*, par F. ALQUIER. Paris, Bachelier, 1852; in-4° pièce. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Sur l'emploi de l'électricité pour la transmission du travail à distance*, par J. BOULANGER. Paris, Gauthier-Villars, 1887; 1 vol. in-8°, broché.
- Sur l'épaisseur des couches de passage*, par Georges VINCENT. Paris, Gauthier-Villars, 1899; 1 vol. in-8°, broché. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Sur le principe de l'énergie*, par M. Maurice LEVY. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1888; in-8°, broché.
- Sur l'équivalent mécanique de la chaleur*, par M. Jules VIOLLE. Paris, Gauthier-Villars, 1870; in-4° pièce. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Sur les variations du pouvoir rotatoire dans la série tartrique et le pouvoir rotatoire des corps dissous*, par M. P. FREUNDLER. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894; 1 vol. in-8°, broché. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Sur les vitesses relatives de la lumière dans l'air et dans l'eau*, par M. LÉON FOUCAULT. Paris, Bachelier, 1853; in-4° pièce. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)
- Théorie de la capillarité*, par M. Emile MATHIEU. Paris, Gauthier-Villars, 1883; 1 vol. in-4°, broché. (*Traité de Physique mathématique*, vol. II.)
- Théorie de la double réfraction de la lumière dans les substances cristallisées*, par E.-L. MALUS. Paris, Garnery, libraire, 1810; 1 vol. in-4°, relié.
- Théorie de l'élasticité des corps solides*, par M. Emile MATHIEU. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1890; 2 vol. in-4°, brochés. (*Traité de Physique mathématique*, vol. VI, VII.)
- Théorie de l'Electrodynamique*, par M. Émile MATHIEU. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1888; 1 vol. in-4°, broché. (*Traité de Physique mathématique*, vol. V.)
- Théorie du potentiel et ses applications à l'Électrostatique et au Magnétisme*, par M. Émile MATHIEU. Paris, Gauthier-Villars, 1885-1886; 2 vol. in-4°, brochés. (*Traité de Physique mathématique*, vol. III, IV.)
- Théorie mathématique des machines à air chaud*, par M. J. BOURGET. Paris, Gauthier-Villars, 1871; 1 vol. in-4°, broché.
- Théorie mécanique de la chaleur*, par Charles BRIOT, 2^e édition publiée par M. E. MASCART. Paris, Gauthier-Villars, 1883; 1 vol. in-8°, broché.
- Théorie mécanique de la chaleur avec ses applications aux machines*, par le Dr G. ZEUNER. Ouvrage traduit de l'allemand par Maurice ARNTHAL et Achille CAZIN. Paris, Gauthier-Villars, 1869; 1 vol. in-8°, broché.
- Thermodynamique*, par J. BERTRAND. Paris, Gauthier-Villars, 1887; 1 vol. gr. in-8°, broché.
- Traité d'Acoustique*, par M. E.-F.-F. CHADNI. Paris, chez Courcier, 1809; 1 vol. in-8°, relié.
- Traité d'Electricité et de Magnétisme*, Atlas pour la seconde Partie du

- 5^e Volume, le 6^e et le 7^e Volume par M. BECQUEREL. Paris, Firmin-Didot frères, 1840; 1 atlas in-plano de 18 planches, cartonné.
- Traité des forces mouvantes*, par M. de CAMUS, gentilhomme lorrain. A Paris, chez Claude Jombert et Laurent Le Conte, 1722; 1 vol. in-8°, relié, (planches hors texte.)
- Traité d'Optique physique*, par M. F. BILLET. Paris, Mallet-Bachelier, 1858-1859; 2 vol. in-8°, brochés (planches hors texte).
- Traité élémentaire d'Electricité*, par James Clerk MAXWELL. Publié par William GARNETT, précédé d'une Notice sur les travaux en Electricité du professeur Maxwell, par W. GARNETT. Traduit de l'anglais par Gustave PICHARD. Paris, Gauthier-Villars, 1884; 1 vol. in-8°, broché.
- Traité élémentaire ou Principes de Physique...*, par M. Mathurin-Jacques BRISSON. 2^e édition, revue, corrigée et augmentée par l'auteur. A Paris, chez Bossange, 1797; 3 vol. in-8°, reliés.
- Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme, et de leurs rapports avec les phénomènes naturels*, par M. BECQUEREL. Paris, Firmin-Didot frères, 1834-1840; 8 vol. brochés (planches hors texte).
- Traité de Mécanique industrielle, ou Exposé de la Science de la Mécanique déduite de l'expérience et de l'observation*; principalement à l'usage des manufacturiers et des artistes; par M. CHRISTIAN. Paris, Bachelier, 1822-1825; 3 vol. in-4° et 1 atlas de planches, reliés.
- Vérification expérimentale de la réciproque de la loi de Faraday sur la décomposition des électrolytes*, par M. Bernard RENAUT. Paris, Gauthier-Villars, 1867; 1 vol. in-4°, 60 pages. (*Thèse de Doctorat ès sciences physiques.*)



BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Allocution de MM. **Hospitalier** et **Pollard**, p. 261. — Dons, p. 265. — Surtensions dans les canalisations électriques (M. **R.-V. Picou**), p. 267. — *Discussion* (MM. **Brylinski**, **A. Potier**, **Boucherot** et **Blondel**), p. 290. — *Discussion* sur la nomenclature électrique (*suite*) (M. **Blondel**), p. 347.

BIBLIOGRAPHIE, p. 354.

OUVRAGES OFFERTS, p. 356.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 4 mai 1904 (1).

PRÉSIDENCE DE M. POLLARD.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir.

M. HOSPITALIER. — « Messieurs, c'est malgré moi, vous le savez, que je repars encore aujourd'hui à ce fauteuil. J'aurais dû le céder, il y a un mois, à mon aimable et distingué successeur, M. Pollard. Malheureusement, il était absent et cette raison me dispense

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

de bien d'autres que je pourrais vous donner. Vous me croirez d'ailleurs sans peine, ayant sans doute constaté que, digne imitateur de nos derniers Mérovingiens, j'avais inauguré à cette place, moins les maires du palais, la dynastie des Présidents fainéants.

» Et comment ne pas l'être, lorsque, succédant à un président aussi actif que M. Harlé, il suffit de laisser continuer des traditions si bien établies, soigneusement conservées par des collaborateurs dévoués aux intérêts de notre Société et dont je me reconnais impuissant à faire un éloge équivalent à leurs mérites. Permettez-moi de n'en nommer aucun, c'est le plus sûr moyen de n'oublier personne.

» Peut-être pourra-t-on m'être quelque peu reconnaissant d'avoir, contre mon tempérament, joué le rôle si facile que j'ai choisi.

» Si j'avais fait quelque chose, j'aurais sans doute trop fait et, pour ne pas tomber dans cet excès, j'ai imité le Marseillais... Je me suis retenu.

» Mais rassurez-vous, les fainéants ne font généralement pas souche: aussi suis-je sûr, en me retirant, de laisser un exemple qui ne sera pas suivi, et je vous en félicite, en vous remerciant de l'aimable indulgence que vous avez bien voulu accorder à un président aussi indigne.

» Je cède le fauteuil à M. Pollard, dont la modestie bien connue s'effaroucherait du moindre éloge, et qui m'a formellement interdit de dire tout haut le bien que nous pensons tous de lui. » (*Applaudissements.*)

ALLOCUTION DU PRÉSIDENT ENTRANT.

M. POLLARD, *Président entrant*. — « Messieurs et chers Collègues, en m'appelant à la présidence de la Société internationale des Électriciens, vous m'avez conféré un grand honneur, dont je sens tout le prix et dont je vous exprime ma profonde gratitude, confiant dans votre bienveillance pour mener à bien la direction de nos travaux et dans la vigilance du Comité d'administration pour sauvegarder les intérêts de la Société.

» Je ne doute pas qu'en m'accordant l'an dernier vos suffrages vous avez voulu rompre exceptionnellement la série des éminents représentants de la Science et de l'Industrie électrique qui occupent

avec tant de distinction, depuis les débuts de la Société, et à son plus grand profit, le fauteuil présidentiel, pour y adjoindre un représentant de l'un des Services de l'État qui met le plus à contribution les merveilleuses ressources de l'Électricité, sous quelque forme qu'elles se manifestent dans leur prestigieux développement.

» J'ai eu la bonne fortune d'entrer dans la Marine à l'époque où les premières applications de l'Électricité faisaient leur apparition, tant à bord des navires que dans les arsenaux, dans des conditions qui paraîtraient très modestes aujourd'hui, mais qui nous passionnaient bien vivement en faisant pressentir une faible partie de ce que l'avenir devait nous réserver à brève échéance.

» Élève de d'Almeida et de Cornu, dont la Société de Physique et la Société des Électriciens vénèrent la mémoire, j'avais puisé de bonne heure, dans leur enseignement et surtout dans les relations d'amitié dont ils avaient bien voulu m'honorer, un vif attrait pour tout ce qui touchait à l'Électricité; aussi grande fut ma joie lorsqu'à mes débuts dans le port de Cherbourg, vers 1874, je fus convié par notre regretté collègue Cabanellas à assister aux essais de la première machine de Gramme livrée à la Marine, dont le collecteur nous paraissait agir de si mystérieuse façon.

» Les connaissances techniques en matière électrique étaient limitées à cette époque, et le langage des Électriciens peu châtié; on exprimait alors *en becs Carcel* la force des machines électriques, *force* qu'il était encore peu question de transporter à distance!

» Je prie mon distingué prédécesseur de me pardonner cette digression et de telles incorrections de langage qui ne sont plus permises dans cette enceinte; je n'ai pu résister au plaisir de rappeler un souvenir personnel de temps lointains!

» Les circonstances de service m'ont amené à suivre de très près le développement rapide et si intéressant des applications de l'Électricité aux choses de la Marine; je leur ai dû la fréquentation précieuse de nombre de nos éminents Collègues auxquels notre Société est redevable de son rapide essor et de son incomparable vitalité.

» Grâce au zèle et à l'activité de notre excellent et sympathique Secrétaire général et au concours inépuisable des collaborateurs dévoués auxquels nous faisons appel, l'intérêt de nos séances est,

pour longtemps, pleinement assuré; les travaux des sections techniques du Comité nous apportent un précieux appoint pour dresser le canevas des communications d'ordre général susceptibles de provoquer d'utiles discussions sur les sujets théoriques et pratiques les plus variés. Vous en aurez tout à l'heure une nouvelle preuve, lorsque notre distingué Collègue, M. Picou, vous présentera sa très intéressante Communication sur les sustensions dans les canalisations électriques dont l'examen ressortit à la quatrième section.

» L'étude des questions techniques, qui est le but primordial des travaux de notre Société, ne doit pas nous faire perdre de vue la gestion des intérêts matériels qui prennent chaque jour plus d'importance en raison du développement des services de nos deux créations, l'École supérieure d'Électricité et le Laboratoire central d'Électricité.

» Grâce à l'habile direction de nos prédécesseurs, la Société a atteint rapidement un rare degré de prospérité dont la constatation ne doit pas nous faire oublier que, si le budget est en équilibre très satisfaisant, les deux termes de l'égalité qui représente cet équilibre atteignent aujourd'hui un chiffre respectable et qu'il importe de suivre attentivement la progression des recettes et celle des dépenses pour faciliter la tâche de nos successeurs et consolider l'état prospère de nos finances.

» Vous pouvez, à cet égard, compter sur la vigilance de votre Comité d'administration qui s'efforcera de provoquer l'accroissement régulier de nos ressources et d'écarter ou d'ajourner toute dépense qui ne serait pas entièrement justifiée par les exigences de nos services.

» Vous savez que nous avons la bonne fortune de posséder un trésorier modèle, administrateur rigide, dont l'éloge n'est plus à faire.

» Pardonnez-moi, Messieurs et chers Collègues, d'avoir consacré à cette allocution une part importante du temps consacré à une séance aussi chargée; j'ai eu à cœur de vous exprimer toute ma gratitude et de vous assurer qu'à défaut d'autres qualités requises pour bien tenir le poste que vous m'avez confié, je vous apporte un profond attachement et un entier dévouement aux intérêts et à la prospérité de notre chère Société, bien vivement touché des gracieuses

paroles que notre Président sortant, dont je déplore plus que tout autre le départ, a bien voulu m'adresser. » (*Applaudissements.*)

Le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts, de dons pour le Laboratoire et l'École et des demandes d'admission suivantes :

MM.

Chaye (Théophile-Joseph-Eugène), Lieutenant de vaisseau, en retraite, 130, rue Mozart, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Le Gent (Alexandre), Élève à l'École supérieure d'Électricité, 37, boulevard du Montparnasse, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

Des remerciements sont adressés aux auteurs des dons suivants :

A l'École :

DESROZIERS.....	1 coupon
MILDÉ.....	1 —
COISSEAU.....	59 coupons
JAVAUX.....	13 —

Au Laboratoire :

M. BOUCHER, Ingénieur, à Lausanne.. 1 condensateur système Mosciki de 500 volts-ampères pour 10 000 volts.

COMPAGNIE CONTINENTALE POUR LA FABRICATION DES COMPTEURS..... 1 compteur électrolytique Wright, 5 ampères, 110 volts.

M. MALASSIS DE LA CUSSONNIÈRE.... 1 compte-tours.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES ET SURÉLEVATIONS DE TENSION CORRESPONDANTES.

M. PICOU. — « Pour répondre au désir exprimé par la quatrième Section je ferai ici un exposé sommaire, aussi élémentaire que possible, de la question des oscillations électriques. Je m'efforcerai de donner surtout des aperçus physiques et de décrire qualitativement les phénomènes, sans en donner la traduction quantitative en langage mathématique. Peut-être est-ce pour avoir été exposés d'abord sous la forme mathématique que ces phénomènes, au fond très simples, n'ont pas été aussi généralement compris qu'ils auraient dû l'être. D'ailleurs, le but pratique que s'est proposé la section est surtout de préciser les facteurs de sécurité qu'il convient de prévoir pour l'essai des appareils. Pour cela, la connaissance des *limites supérieures* suffit; et il n'est besoin de connaître ni la phase, ni la loi de décroissance de la tension ou du courant.

» Des méthodes qui permettent d'évaluer ces limites supérieures sont donc celles qui présentent le caractère d'utilité générale que la Section a entendu donner à cette étude, et c'est à elles seules que nous bornerons l'exposé qui va suivre.

» I. *Mécanisme des oscillations.* — Dans un circuit comprenant une self-induction L , une capacité C , et une résistance R qu'on supposera d'abord négligeable (*fig. 1*), supposons qu'on ait emmagasiné

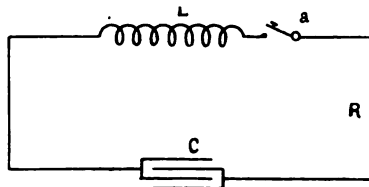


Fig. 1.

une certaine quantité d'énergie, en mettant un instant une pile de tension U aux bornes du condensateur. Celui-ci prendra une charge Q , c'est-à-dire une énergie $\frac{1}{2}QU$ ou $\frac{1}{2}CU^2$ qu'il peut ainsi garder indéfiniment si l'isolement est parfait.

» Fermons maintenant la clef a et cherchons ce que devient cette énergie. Le condensateur va se décharger dans le circuit et y créer un courant. Dans la bobine L , ce courant établira un flux de force, proportionnel au courant, et qui va emmagasiner une partie de l'énergie émise par le condensateur. Ce flux augmentera jusqu'à ce que le courant soit à son maximum, $I_{\max}$. A ce moment l'énergie emmagasinée par le flux est $\frac{1}{2}LI_{\max}^2$. Mais à ce moment même le condensateur est vide; en effet, si le courant a cessé de croître c'est que la différence de potentiel entre ses armatures, qui était la force électromotrice en jeu, est devenue nulle. La charge l'est donc aussi; par suite, aucune énergie n'y subsiste plus.

» Si nous négligeons d'abord l'effet de la résistance R , nous reconnaissons que l'énergie $\frac{1}{2}CU^2$ du condensateur a été transférée tout entière au flux créé par la bobine L ; ce qui se traduit algébriquement par

$$\frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}LI_{\max}^2.$$

» Mais le flux de force ne peut pas se fixer sur cette bobine (qui par hypothèse ne contient pas d'acier aimantable). Après avoir crû jusqu'à son maximum, il va décroître, donnant naissance à une force électromotrice et par suite à un courant, de *sens inverse* au précédent. Ce courant va recharger le condensateur en sens inverse de sa charge primitive, et lui retransférer ainsi l'énergie du flux de force. Au moment où i redeviendra nul, toute l'énergie sera de nouveau dans le condensateur, puisque le flux de force étant devenu nul n'en gardera pas trace. Les choses se retrouvent donc, au signe près, dans l'état primitif; et l'énergie a effectué une *demi-oscillation* entre le condensateur et la bobine. Le phénomène va donc se continuer par une demi-oscillation de sens inverse; puis, les choses reprendront comme à l'origine, et ainsi de suite. L'oscillation ainsi déterminée continuerait indéfiniment si l'énergie était réellement transférée tout entière d'un organe à l'autre. Mais la résistance R du circuit, qui n'est jamais nulle, intervient à son tour pour altérer progressivement le phénomène. A chaque demi-oscillation, elle transforme en chaleur sensible, elle *dégrade* une quantité finie de l'énergie, soit $\int Ri^2 dt$. Cette énergie ne se retrouve naturellement

plus à la demi-oscillation suivante, de sorte que les valeurs maximum successives du courant vont en diminuant progressivement, et tombent, en très peu de temps, à des grandeurs assez petites pour qu'on puisse considérer le phénomène comme terminé.

» Si même la valeur de R est assez élevée, il n'y a plus d'oscillation; la décharge s'éteint progressivement sans élever la tension sur le condensateur.

» Ainsi nous voyons l'énergie introduite dans le circuit se partager, à chaque mouvement, en deux parts : l'une qui oscille sous une forme *réversible*; l'autre qui se *dégrade* par transformation en une forme *irréversible*, ou du moins *non immédiatement réversible*.

» C'est à ces deux modes de déplacements de l'énergie que correspondent, dans le langage courant de l'Électrotechnique, les expressions, peut-être incorrectes mais si commodes, de *watté* et *déwatté*. Le courant déwatté n'est en somme que la manifestation du passage d'une quantité d'énergie *oscillante*, qui va et vient entre la source et les récepteurs, où elle s'emmagasiné temporairement sous forme réversible de flux de force ou de tension électrostatique, tandis que le courant *watté* correspond au passage de l'énergie qui est dégradée ou transformée en une forme non immédiatement réversible. Les oscillations résultent de ce que les capacités déterminent un courant déwatté *en avance* sur le courant watté; et les inductances un courant *en retard*. De là résulte aussi le mécanisme de l'oscillation tel qu'il vient d'être décrit.

» Une fois ce mécanisme bien compris, on n'a aucune difficulté à mettre le problème en équation. Il suffit d'écrire que l'énergie oscillante est constante à la dégradation près, et l'on obtient l'équation différentielle générale, qu'il ne semble pas utile de rappeler ici.

» *Oscillation propre.* — L'échange d'énergie entre une capacité et une bobine trouve son analogie mécanique dans un système pendulaire formé d'une masse pendue à un ressort. Lorsque celle-ci est mise en mouvement vertical, au moment où elle passe sur la position de repos, sa vitesse est maximum et c'est la masse qui contient, en énergie cinétique $\frac{1}{2}Mv^2$, la totalité de l'énergie intro-

duite dans le système. A fin de course au contraire, où $v = 0$, c'est le ressort qui la contient toute et elle est exprimée par $\frac{1}{2}Kc^2$, K étant la raideur du ressort, et $2c$ la course totale de la masse. L'analogie est complète, même dans les formules; mais ce n'est qu'une analogie, non une identité, les dimensions des grandeurs en jeu étant tout à fait différentes.

» On n'ignore pas qu'un tel système mécanique, comme tout pendule, possède une période d'oscillation propre, fonction de M et de K , suivant laquelle il effectue les oscillations qu'il exécute *librement*. Cette durée ou période d'oscillation se calcule par les formules classiques de Coulomb.

» De même, un circuit électrique capable d'oscillations non amorties, c'est-à-dire comprenant capacité C et self-induction L , possède une période propre fonction de ses qualités. Elle se calcule aisément par les équations mêmes de Coulomb, et a pour valeurs

$$T = 2\pi\sqrt{CL}.$$

» En appliquant cette formule avec des valeurs pratiques usuelles de L et C , on reconnaît que la période propre des circuits est en général très notablement plus courte que celles auxquelles les alternateurs nous ont accoutumés. Des chiffres allant du $\frac{1}{200}$ au $\frac{1}{1000}$ de seconde limitent presque toutes les valeurs observables sur des circuits comprenant machines et canalisations.

» Ces périodes et les fréquences correspondantes sont celles des oscillations *libres*, c'est-à-dire celles qu'exécute le système oscillant mécanique ou électrique, lorsqu'on l'abandonne à lui-même après y avoir introduit une fois une certaine quantité d'énergie. Mais il se présente des cas où, au contraire, l'oscillation est forcée.

» *Oscillations forcées.* — Au lieu d'introduire une fois l'énergie dans le circuit, et d'abandonner le fonctionnement à lui-même, on peut y introduire une force électromotrice alternative, d'une fréquence différente de celle du circuit. C'est alors cette dernière qui finit par imposer sa période, après un temps assez court pendant lequel il y a superposition de l'oscillation imposée et de l'oscillation propre amortie. C'est ce qui se produit pendant le fonctionnement normal de tous les alternateurs; au bout d'un temps très court après

la fermeture du circuit, l'énergie oscillante ne se manifeste plus que par la composante déwattée du courant, qui a la fréquence même de la force électromotrice.

» Mais on peut imaginer que cette fréquence vienne à coïncider précisément avec celle du circuit auquel elle est imposée. C'est alors que se produit la *résonance*. On sait que, dans ces conditions, la concordance des impulsions que reçoit le circuit avec sa période propre de vibration a pour effet d'accroître énormément l'amplitude de l'oscillation. Cette amplitude, c'est-à-dire l'intensité maxima du courant (composante déwattée), augmenterait indéfiniment sans la présence de la résistance. En fait elle augmente, et *avec elle la tension aux bornes du condensateur*, jusqu'à ce que le courant prenne la valeur qu'il aurait si la résistance était seule, en l'absence de capacité et d'induction. L'inductance et la capacitance s'équilibrent alors exactement, au point de vue de l'application de la loi d'Ohm, où la résistance subsiste seule; mais il apparaît, aux bornes de la capacité, une différence de potentiel toujours plus élevée et parfois considérablement plus élevée que la force électromotrice de la source. La surtension de résonance est donc souvent un multiple assez élevé de la tension principale.

» Enfin, la force électromotrice imposée peut être complexe; elle peut être formée de la superposition d'une onde de fréquence principale d'une amplitude propre déterminée et de plusieurs autres ondes harmoniques, de fréquences supérieures, ayant aussi chacune leur amplitude propre. On sait que chacune agit alors dans le circuit comme si elle y était seule, et que l'effet résultant est la somme pure et simple de tous les effets composants.

» Ce sera donc un quelconque des harmoniques qui pourra tomber en résonance. Son amplitude pourra être considérablement accrue; mais l'effet sensible, c'est-à-dire la tension totale, comparée à celle de la source, dépendra dans une grande mesure de la valeur de l'amplitude originelle de la force électromotrice propre de l'harmonique considéré.

» Telles sont les considérations élémentaires très simples qui forment la base de l'étude des surtensions. Elles suffisent à l'intelligence, sinon au calcul rigoureux de toutes les conditions des phénomènes.

» II. Pour l'évaluation de l'ordre de grandeur des effets possibles, le premier point est de déterminer, avec une approximation suffisante, les grandeurs en jeu ; pour faciliter l'exposé nous l'accompagnerons d'exemples numériques empruntés à une installation réelle.

» Une installation comprend toujours :

Un générateur,
Une ligne,
Des récepteurs.

» Chacun de ces organes est doué de self-induction et de capacité ; mais, en pratique, l'une ou l'autre sont toujours négligeables.

» *Générateur.* — L'alternateur est doué d'une inductance qui se déduit d'une manière suffisante des essais classiques à vide et en court-circuit. On a en effet, comme on sait, en court-circuit

$$I_{cc} = \frac{E}{\omega L}.$$

» L'essai à circuit ouvert donne E pour l'excitation employée ; l'ampèremètre donne I_{cc} , la mesure de la vitesse angulaire donne ω .

» De là

$$\omega L = \frac{E}{I_{cc}}.$$

» Cette self-induction est un peu variable avec la charge à cause de la dispersion ; néanmoins, pour l'ordre de phénomènes qui nous intéresse, nous pouvons nous contenter d'une valeur moyenne. La même remarque est d'ailleurs à reproduire pour chacun des organes inductifs que l'on introduit dans le circuit. Pour un certain alternateur on a obtenu :

» Excitation pendant les deux essais

$$i = 7,1 \text{ ampères ;}$$

» En circuit ouvert

$$I = 0 \text{ ampère,} \quad E = 1260 \text{ volts.}$$

» En court-circuit

$$I_{cc} = 48,5 \text{ ampères,} \quad U = 0 \text{ volt,}$$

$$\omega = 2\pi f = 100\pi,$$

$$\omega L' = \frac{E}{I_{cc}} = \frac{1260}{48,5} = 26 \text{ ohms,}$$

$$L' = 0,083 \text{ henry.}$$

» La capacité de l'alternateur ne joue aucun rôle appréciable vis-à-vis des autres capacités en circuit.

» *Ligne*. — La ligne au contraire présente une capacité devant laquelle sa self-induction est négligeable, surtout lorsqu'il s'agit de câbles souterrains. Cette capacité se calcule au moyen des mesures faites au laboratoire, desquelles on peut déduire ⁽¹⁾ la capacité de service.

» C'est donc entre les conducteurs de ligne que s'exerceront principalement les surtensions : et c'est leur diélectrique qui est exposé à la rupture, surtout dans les câbles. Toutefois les surtensions peuvent aussi se manifester, si le diélectrique résiste, sur les appareils reliés aux lignes, et sur les premières bobines des alternateurs ou transformateurs.

» *Récepteurs*. — Les récepteurs sont plus complexes et il importe ici de les considérer individuellement d'après leur nature.

» Le *moteur synchrone* possédant une excitation indépendante, il n'y aura à considérer que sa self-induction, qui intervient exactement comme celle du générateur. Toutefois, ceci suppose que l'excitation est exacte, c'est-à-dire précisément celle qui met le courant dans le moteur en concordance de phase avec la différence de potentiel à ses bornes. S'il en est autrement, il circulera sur la ligne un courant dévatté arrière ou avant, qui équivaudra soit à un accroissement des inductances en jeu (excitation faible), soit à un accroissement de la capacité (excitation forte). Il n'y a pas lieu d'insister sur cette particularité bien connue des moteurs synchrones; en général on les règle à l'excitation pratiquement exacte.

» Les *transformateurs* empruntent à la génératrice leur courant magnétisant i_μ . Ce courant est pratiquement indépendant de la charge; l'inductance correspondante se déduit de l'essai à vide où l'on mesure la force électromotrice aux bornes U , le courant I_0 et la puissance P .

(1) Voir en annexe les valeurs des capacités pour les câbles multiples.

On a

$$i_{\mu} = I_0 \sin \psi,$$

$$\cos \psi = \frac{P}{EI_0},$$

$$Z = \frac{U}{I_0}.$$

» L'inductance est

$$\omega L' = Z \sin \psi.$$

» La résistance est

$$R'' = Z \cos \psi.$$

» Celle-ci n'est pas la résistance du cuivre **primaire**, mais bien la résistance représentative de toute l'énergie dégradée **en effet Joule**, hystérésis et courants de Foucault, à vide.

» En général, dans les bons transformateurs modernes, le courant I_0 vaut environ 0,03 du courant maximum I que peut recevoir le transformateur, et le facteur de puissance est environ 0,65 lors de l'essai à vide.

» Donc i_{μ} est environ 0,023 $I_{\max}$. Sa valeur totale sur un réseau est la somme de celle de tous les transformateurs branchés en dérivation. Ainsi soit $E = 3000$ volts et 300 kilowatts reliés.

» Le courant $I_{\max}$ serait

$$\frac{300000}{3000} = 100 \text{ ampères.}$$

» Donc i_{μ} total vaut 2,3 ampères.

$$\omega L'' = \frac{3000}{3} 0,76 = 760 \text{ ohms,}$$

$$R'' = \frac{3000}{3} 0,65 = 650 \text{ ohms,}$$

et, à la fréquence 50,

$$L' = \frac{760}{100\pi} = 2,42 \text{ henrys.}$$

» Pratiquement cette valeur de L' est toujours très supérieure à celle L' de l'alternateur. Toutefois, si les transformateurs reliés représentaient 8 ou 10 fois la puissance de l'alternateur, les valeurs des quantités L'' et L' deviendraient du même ordre de grandeur.

» Les transformateurs ont aussi une certaine dispersion. Celle-ci est proportionnelle au courant secondaire, et elle devrait entrer

comme une variable si sa petitesse ne permettait de la négliger dans tous les cas ⁽¹⁾.

» Les moteurs *asynchrones* empruntent aussi à la ligne leur courant magnétisant. Pratiquement, on peut le confondre avec le courant de marche à vide et assimiler l'appareil à un simple transformateur. Ces moteurs ont une dispersion beaucoup plus forte que les transformateurs; mais elle est à peu près négligeable, même à son maximum devant le flux principal. On peut donc considérer encore ces appareils comme possédant une self-induction indépendante de la charge wattée, du moins pour l'ordre de phénomènes qui nous occupe en ce moment.

» Tels sont les principaux types de récepteurs que l'on rencontre dans les installations courantes. Pour faire l'application des quantités ainsi déterminées aux conditions de surtension, il suffit de grouper correctement les valeurs d'après la position des appareils. Les exemples qui vont suivre éclairciront ce point.

» III. Les surtensions se manifestent dans certaines circonstances, normales et anormales, du fonctionnement.

» On observe normalement :

» 1° Des surtensions de *résonance* plus ou moins parfaite, pendant toute la durée de la marche.

» 2° Des surtensions lors de la *fermeture* d'une ligne sur la source.

» 3° Des surtensions lors de la *coupure* du courant dans une ligne.

(1) La dispersion se déduit de l'essai en court-circuit qui donne la force électromotrice de dispersion e_s . On a

$$L_s = \frac{e_s}{\omega I},$$

I étant le courant maximum normal du transformateur; l'expérience prouve que e_s vaut tout au plus $0,03E$. L'essai à vide a donné

$$L' = \frac{E}{\omega i_\mu} \sin^2 \psi.$$

On en déduit

$$\frac{L_s}{L'} = \frac{e_s}{E} \frac{i_\mu}{I} \frac{1}{\sin^2 \psi}.$$

Comme i_μ est environ $0,030I$ à $0,035I$, il en résulte qu'on a environ $L_s = 0,002L'$; donc négligeable.

» Les circonstances anormales sont des fermetures ou coupures du circuit provoquées accidentellement. Le calcul des élévations correspondantes de la tension ne diffère de celui des conditions normales que par l'introduction des conditions accidentelles elles-mêmes.

» *Résonance.* — Toutes les forces électromotrices de machines sont complexes; leur courbe figurative en fonction du temps est une sinusoïde plus ou moins déformée par des harmoniques. L'origine de ces altérations ne nous intéresse pas en ce moment. Il convient seulement de rappeler que les harmoniques impairs existent seuls en pratique; et que les plus accentués dans les machines modernes sont ceux qui ont pour origine la denture de l'induit. Une division de n dents par champ donne naissance aux harmoniques $n - 1$ et $n + 1$. La valeur très fréquente $n = 12$ donne donc les harmoniques 11 et 13 avec une amplitude souvent très appréciable. Il importe de connaître le facteur de surtension dans toutes les conditions pratiques de fonctionnement.

» *Facteur de surtension.* — Supposons une force électromotrice sinusoïdale agissant sur un circuit susceptible de résonner (*fig. 2*).

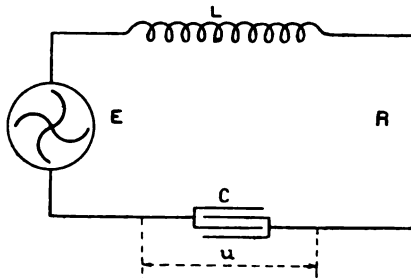


Fig. 2.

» Nous savons maintenant que la tension U aux bornes du condensateur C est plus élevée, et qu'elle peut être beaucoup plus élevée que la force électromotrice E de la source. La théorie élémentaire nous donne immédiatement le rapport $\frac{U}{E}$ que l'on peut appeler le *facteur de surtension* α :

$$(1) \quad \alpha = \frac{U}{E} = \frac{\frac{1}{\omega C}}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}.$$

» Si l'on considère dans cette expression la capacité C comme variable, on peut en tirer la valeur de α pour une inductance constante donnée. C'est le problème de la détermination de la surtension en fonction de la longueur du réseau. On reconnaît immédiatement que le maximum, lors de la résonance, est $\frac{1}{\omega CR}$; et comme C et R sont généralement faibles on peut s'attendre à une valeur élevée de α . L'allure de la courbe figurative est la suivante (fig. 3):

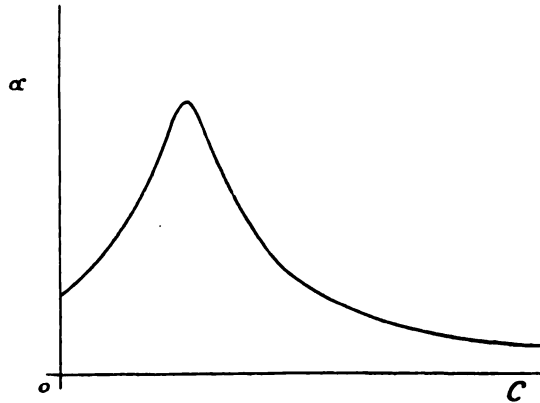


Fig. 3.

» Lorsque la force électromotrice contient des harmoniques, chacun d'eux peut résonner à son tour, au fur et à mesure de l'extension du réseau; mais, pour une capacité donnée, le facteur de surtension total, c'est-à-dire le maximum d'effort auquel est soumis le diélectrique, est au plus égal à la somme arithmétique des facteurs propres à chacun des harmoniques. Si l'on appelle n l'ordre de l'harmonique et si l'on introduit cette valeur dans l'expression de α , l'on obtient

$$(2) \quad \alpha = \frac{\frac{1}{n\omega C}}{\sqrt{R^2 + \left(n\omega L - \frac{1}{n\omega C}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - n^2 C \omega^2 (2L - CR^2) + n^4 \omega^4 C^2 L^2}}.$$

» Cette dernière forme, plus commode pour le calcul, permet d'obtenir le facteur α pour chacun des harmoniques, sur un réseau de longueur connue.

» Enfin, le calcul des valeurs n et C qui satisfont à l'expression

$$n\omega L = \frac{1}{n\omega C}$$

ou bien

$$(3) \quad 1 - n^2 \omega^2 LC = 0$$

permet de reconnaître à quelle époque, dans le développement du réseau, un harmonique donné tombera en résonance.

» Pour préciser, voici des applications à un exemple réel :

» L'alternateur défini ci-dessus, et ayant $L = 0,083$ henry, est rattaché à un réseau de câbles non reliés aux récepteurs. La capacité se déduit des mesures de laboratoire faites sur les câbles et indique 2,13 microfarads par exemple. La résistance en jeu est celle de l'alternateur, environ 2 ohms, à laquelle il convient d'ajouter la moitié de celle du réseau, environ 0,7 d'où $R = 2,7$ ohms au total.

» Le calcul de α par la formule (2) donne les valeurs suivantes, pour les différents harmoniques :

$n =$	5.	7.	9.	11.	13.
$\alpha =$	1,80	7,1	2,3	0,88	0,50

» La courbe ci-jointe (*fig. 4*) donne d'ailleurs l'allure complète :

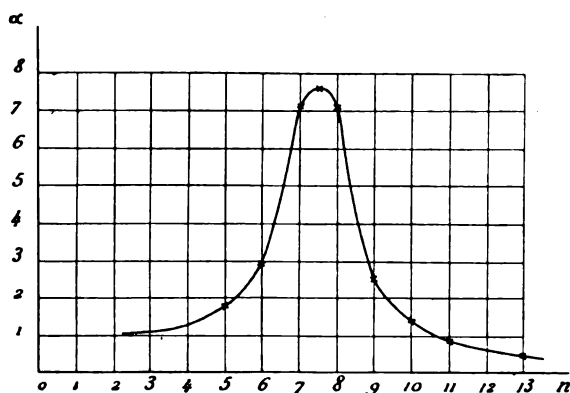


Fig. 4.

» Donc les harmoniques 7 et 9 sont les plus renforcés dans les conditions indiquées. Mais avec une autre longueur de câbles reliés, il peut en être autrement. Aussi, pour avoir une meilleure indication des surtensions possibles, il est commode de calculer les valeurs successives de C pour $n = 1, 3, 5, \dots$, en utilisant l'équation (3).

» Il est encore commode de figurer cette équation du troisième degré par un abaque, dont les abscisses sont divisées proportion-

nellement à n^2 et les ordonnées à $\frac{1}{C}$ (*fig. 5*). On reconnaît alors que les harmoniques 11 et 13 de la denture ont dû passer par la résonance aux environs de $C = 1$ microfarad, c'est-à-dire avec un peu moins de la moitié de la capacité du réseau.

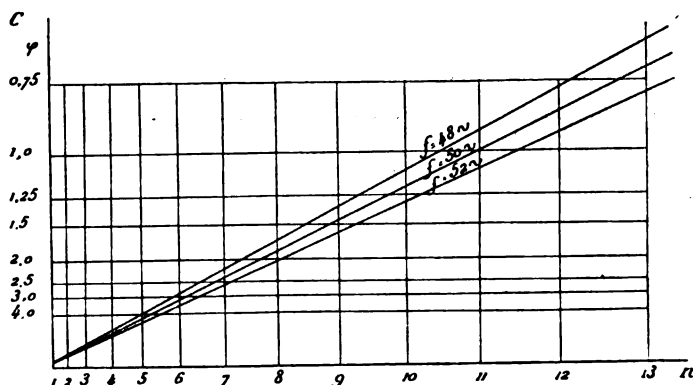


Fig. 5.

» L'essai a pu être fait dans ces conditions; les figures 6 et 7 sont les ondographies de l'alternateur à vide, puis du même sur une

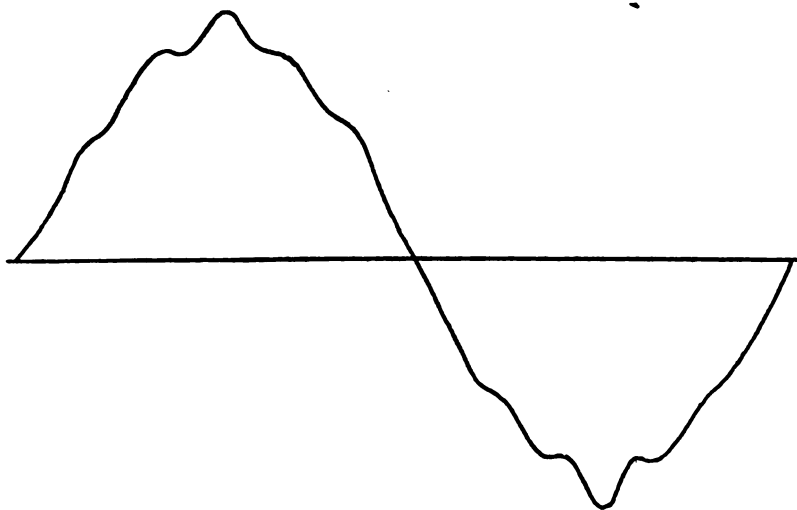


Fig. 6.

capacité voisine d'un microfarad. On voit que les harmoniques considérés, sensibles à vide, se trouvent renforcés par la résonance au delà de toute limite.

» Le facteur α pour l'harmonique 11 a pour valeur

$$\alpha = \frac{1}{n\omega CR} = 107 \text{ environ.}$$

» On comprend donc facilement que, pour faible que soit l'amplitude originelle, l'augmentation de tension peut aller très loin. Supposons cette amplitude de la force électromotrice de l'harmonique 11 égale à $\frac{1}{100}$ de celle de E . En résonance elle sera amplifiée 100 fois, c'est-à-dire de manière à devenir égale à la tension E .

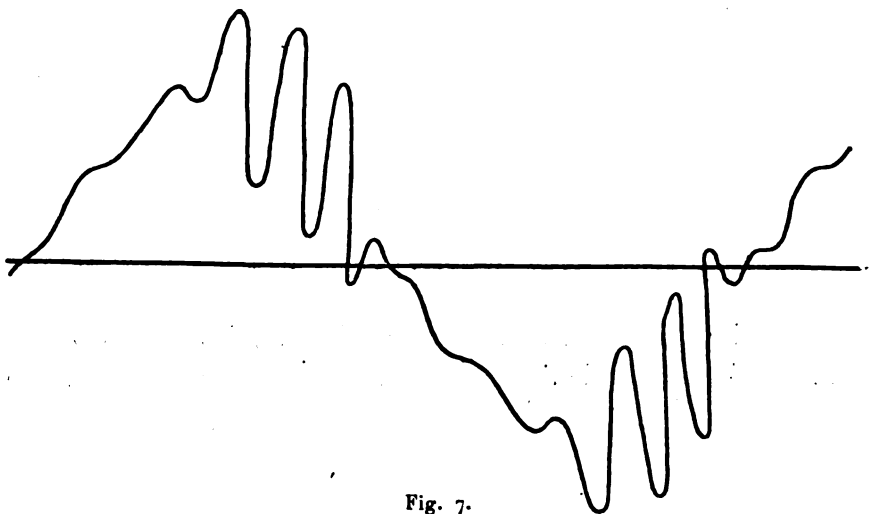


Fig. 7.

Celle-ci est elle-même renforcée mais très faiblement. La tension instantanée totale est donc au moins doublée, mais comme l'harmonique 13 est lui-même presque en résonance, elle est aussi renforcée à une valeur comparable à celle de la onzième et l'on doit s'attendre à voir la tension normale plus que doublée.

» Les chiffres ainsi calculés pour α n'ont pas une grande valeur absolue; il est d'ailleurs difficile de mesurer l'amplitude des forces électromotrices harmoniques. Mais il importe de retenir de ceci que les harmoniques peuvent présenter des dangers sérieux, même avec une amplitude originelle très faible.

» L'étude de leur diminution ou de leur suppression fait l'objet d'une étude spéciale de la première Section, qui sera communiquée à la Société en temps opportun.

» *Surtension à la fermeture.* — Lorsque l'on met en circuit un

réseau sur une force électromotrice préexistante, il se produit normalement une surtension. La ligne est soumise un instant après la fermeture à une tension double, à très peu près, de celle de la source. Si la force électromotrice est alternative, cette tension au moment de la fermeture semble pouvoir être quelconque entre zéro et son maximum; il faut donc, en tout cas, prévoir le maximum. Il me semble probable cependant que la fermeture se fera, sur l'interrupteur, par une étincelle qui jaillira au moment où les pièces à mettre en contact seront très rapprochées, et très probablement au moment d'un maximum de tension instantanée.

» Le mécanisme de ce phénomène peut encore s'exposer assez facilement en langage ordinaire. On a en circuit une source (que nous pouvons assimiler à une pile) dont la différence de potentiel est E . La self-induction L est celle de la source et la capacité C celle du réseau. Avant la fermeture, les armatures du condensateur (câbles) sont toutes deux au potentiel zéro (*fig. 8*). Plus tard, elles

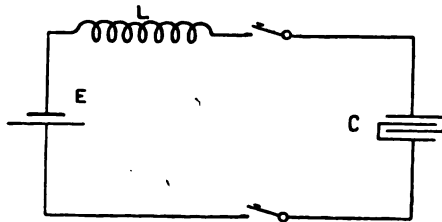


Fig. 8.

auront une différence de potentiel variable u dépendant de leur charge. Au moment de la fermeture, la pile va lancer un courant qui va tendre à charger C , mais en même temps, créer un flux dans la bobine L . Les trois forces électromotrices en jeu sont alors :

- » 1° Celle de la pile, E ,
 - » 2° Celle de self-induction, $L \frac{di}{dt}$,
 - » 3° Celle de capacité, u .
- » A tout instant elles s'équilibrent (ce qui se traduirait algébriquement par l'équation de conservation de l'énergie) (').

(') En effet $E - u - L \frac{di}{dt} = 0$; mais, comme $i dt = C du$, il vient

$$L i di = C(E - u) du,$$

» Or, au premier instant u est nul, mais va augmenter. Donc $\frac{di}{dt}$, taux d'augmentation du courant, est maximum dès la fermeture. Le courant va donc croître, mais de moins en moins vite.

» Au bout d'un temps assez court, le condensateur sera chargé à la tension E de la pile. Alors $E = u$ donc $\frac{di}{dt} = 0$; le courant a cessé de croître, il est maximum. A cet instant le condensateur contient une quantité d'énergie $\frac{1}{2} CE^2$; mais le flux de self-induction $\frac{1}{2} Li^2$ représente une quantité d'énergie précisément égale (1).

» Le courant va maintenant diminuer, de telle sorte que la charge du condensateur va encore augmenter. Lorsque i sera redevenu nul, le flux de force n'existant plus, c'est le condensateur qui contiendra toute l'énergie, et celle-ci aura pour valeur CE^2 . Mais, pendant ce second intervalle, la source a continué à fournir de l'énergie, et en quantité précisément égale à celle déjà émise pen-

équation qui ne diffère pas de celle de la conservation de l'énergie

$$d\left(\frac{Li^2}{2}\right) + d\left(\frac{C(E-u)^2}{2}\right) = 0.$$

En l'intégrant, on a

$$\frac{Li^2}{2} = C\left(Eu - \frac{u^2}{2}\right),$$

$$i^2 = \frac{C}{L}(2Eu - u^2);$$

mais

$$i^2 = C^2\left(\frac{du}{dt}\right)^2,$$

d'où

$$dt = \sqrt{CL} \frac{du}{\sqrt{2Eu - u^2}},$$

équation identique à celle de Coulomb, qui, intégrée entre les limites 0 et E , donne la durée $\theta_1 = \frac{T}{4}$ d'un quart de période, d'où

$$T = 2\pi\sqrt{CL}.$$

La période de l'oscillation est déterminée par le circuit seul.

$$(1) \quad \int_0^{\theta} Li \, di = C \int_0^E (E - u) \, du,$$

$$\frac{LI_m^2}{2} = \frac{CE^2}{2},$$

dant le premier ⁽¹⁾; et, au moment où i sera redevenu nul, C contiendra donc $2CE^2$. Sa tension u_m sera donc telle que

$$\frac{1}{2} C u_m^2 = 2CE^2, \\ u = 2E.$$

» C'est le résultat annoncé.

» On obtient ainsi une première et précieuse indication sur le facteur de sécurité que doivent normalement supporter tous les appareils, lequel ne doit en aucun cas être inférieur à 2.

» Après la première demi-période, telle qu'elle vient d'être décrite, l'oscillation continue, mais s'amortit par la résistance. Elle a pour fréquence la fréquence propre de circuit, toujours très supérieure à celle de l'alternateur. Cette remarque justifie l'assimilation faite plus haut de la source alternative à une pile; car la force électromotrice alternative n'a pas le temps de varier appréciablement pendant la courte durée d'une demi-oscillation.

» Ce qui précède n'est, en somme, que l'analyse physique de la période variable de l'établissement d'un courant dans un circuit présentant capacité et self-induction. Ces quantités influent sur la période de l'oscillation, mais non sur la valeur maxima de la tension instantanée à la fermeture.

» *Surtension à l'ouverture normale.* — Lorsque l'on coupe au moyen d'un interrupteur bipolaire le circuit primaire d'une installation il peut encore se produire une surtension; mais elle dépend dans une grande mesure du point de coupure, et de la charge du circuit. Pour me limiter à des cas simples, j'examinerai seulement les conditions suivantes :

» *a.* Coupure en pleine charge, au bout éloigné de la ligne;
» *b.* Coupure en pleine charge, au bout rapproché de la ligne à vide;

» *c.* Coupure en pleine charge, au même point, en charge.

» Soit (*fig. 9*) un diagramme figuratif où E est la force électromotrice de la source de self-induction L' ; où L'' est la self-induction

$$^{(1)} \quad \int_0^{t_1} E i \, dt = \int_0^E CE \, du + \int_0^3 Li \, di = CE^2.$$

de l'ensemble des transformateurs et R une résistance figurant la charge secondaire, ainsi représentée dans un but de simplification.

» *a.* Dans la première hypothèse, après la coupure, le circuit susceptible de résonance est formé par la source et la ligne. La

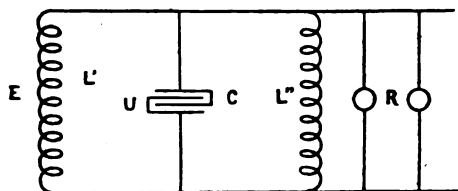


Fig. 9.

résistance en est assez faible pour que son effet d'amortissement soit négligeable, et l'on peut écrire simplement

$$LI^2 = CU^2.$$

$$U = I\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

» La valeur de I doit être prise égale à son maximum instantané possible; car, pour peu probable que soit la coupure à ce moment précis, on doit la prévoir dans l'évaluation d'une limite. On a, dans l'exemple considéré :

$$I_{\text{eff.}} = 50 \text{ ampères}$$

$$I_{\text{max}} = 71 \text{ —}$$

$$\omega L' = 26 \text{ ohms}$$

$$\frac{1}{\omega C} = 1500 \text{ —}$$

» Donc

$$U = 71 \sqrt{26 \cdot 1500} = 14000 \text{ volts environ.}$$

» C'est là une limite dont le plus souvent on ne fera qu'approcher plus ou moins; mais elle montre néanmoins que la manœuvre signalée doit être considérée comme dangereuse.

» Sur une ligne aérienne, le seul changement serait dans la valeur de la capacité, qui deviendrait environ dix fois moindre. La surélévation serait alors multipliée par $\sqrt{10} = 3,16$ environ, et approcherait de 45000 volts instantanés.

» *b.* La coupure au tableau de départ met en jeu la résonance d'un circuit tout différent, comprenant, outre la ligne, l'ensemble des

transformateurs, de self-induction L'' et de résistance R'' . Celle-ci, valant 650 ohms, n'est plus du tout négligeable. En effet, la résistance critique, au-dessus de laquelle il n'y a plus d'oscillation, a pour valeur $2\sqrt{\frac{L''}{C}} = 2140$ ohms. Avec $R'' = 650$ il y a donc encore oscillation; mais l'amortissement joue un rôle très important.

» Le calcul de U ne peut plus se faire avec des formules suffisamment simples; il est d'ailleurs inutile puisqu'il suffit de remarquer que sa valeur est certainement très inférieure à la limite calculée plus haut pour le cas de la coupure au bout éloigné.

» c. Enfin, si en outre les circuits secondaires des transformateurs sont chargés de manière à provoquer la circulation d'un courant primaire watté I'' , l'effet de cette charge sera suffisamment représenté par une résistance de valeur $R'' = \frac{E}{I''}$ mise en dérivation sur la ligne. Il est bien évident que son action sera d'améliorer encore les conditions par rapport à la marche à vide. L'énergie oscillante sera toujours celle de l'aimantation du fer des transformateurs; mais une partie importante de celle-ci passera par R'' où elle se dégradera; elle ne pourra ainsi pas se manifester sur la ligne. Il semble donc probable que la coupure au départ devient de moins en moins dangereuse à mesure que la charge wattée augmente.

» Je crois que ceci suffit à expliquer nombre de ruptures d'isolation observées sur des alternateurs ou transformateurs, et que l'on a attribuées à une insuffisance de l'isolation, alors qu'elles n'étaient dues qu'à une surtension que l'exploitant doit considérer comme normale s'il admet en principe une manœuvre de coupure en pleine charge.

» Un type d'interrupteur qui aurait la propriété de couper le courant à l'époque où il passe par zéro, serait une acquisition précieuse pour la sécurité du matériel. C'est ce que *paraissent* faire les interrupteurs dans l'huile; des expériences spéciales à ce sujet ont été projetées par la 4^e Section.

» *Surtensions à la rupture d'un courant de court-circuit.* — L'ouverture du circuit peut encore résulter de l'extinction d'un arc de court-circuit ou de la fusion de plomb correspondante. Le phénomène est le même que précédemment, mais les quantités en jeu sont un peu différentes.

» Soit un court-circuit sur la ligne. Son effet est de mettre les deux armatures du condensateur (les conducteurs) au même potentiel. En outre, il élimine toute intervention des récepteurs qui sont shuntés en court-circuit. Enfin, le courant dans le court-circuit est différent de celui du fonctionnement normal. En effet, la résistance en jeu n'étant plus alors que celle de la génératrice et de la ligne, sa valeur très faible devant celle de l'inductance peut disparaître dans l'expression de l'impédance Z , qui devient pratiquement égale à l'inductance $\omega L'$.

» L'expression de U devient alors simplement

$$U = E \sqrt{\frac{1}{\omega^2 CL}}$$

» Dans l'exemple précédent, avec ligne souterraine, on aura donc

$$\frac{U}{E} = \sqrt{\frac{10^6}{(100\pi)^2 \cdot 0,083 \cdot 2,13}} = 7,5;$$

avec ligne aérienne, de capacité dix fois moindre, on aurait évidemment, $\sqrt{10}$ fois plus, d'où

$$\frac{U}{E} = 25 \text{ environ.}$$

» Ces chiffres montrent bien à quelles épreuves est soumis le matériel électrique lorsque son emploi n'est pas l'objet d'un programme raisonné et de soins attentifs. Ils montrent aussi de quelle importance est l'étude de l'appareillage accessoire : interrupteurs, coupe-circuit, parafoudres, etc. Je signalerai, en particulier, qu'il me paraît probable que beaucoup d'accidents attribués à des coups de foudre n'ont été que des réflexes résultant de l'extinction de courts-circuits établis sur des parafoudres non munis de résistances. De même des ruptures d'isolation survenues à la suite de la fusion d'un plomb ont été considérées comme la cause de la fusion, alors qu'en réalité la véritable cause en a été un court-circuit en ligne, qui a pu ne pas laisser de traces.

» En terminant cette étude des surtensions, il convient de faire remarquer qu'elles se produisent non seulement aux ouvertures et fermetures complètes de circuit, mais encore à toutes les modifications importantes de régime. Elles sont alors atténuées mais ne

s'en produisent pas moins conformément au mécanisme décrit, et sont tout aussi aisément calculables, au moins comme ordre de grandeur, par les mêmes procédés que ceux exposés plus haut.

CONCLUSIONS.

» Cet exposé porte en lui-même une partie des conclusions qu'on peut en tirer. Il montre que, normalement, les câbles et appareils d'une installation sont exposés à subir des surtensions qui vont facilement au delà du double des tensions normales. D'où l'importance d'un facteur de sécurité assez élevé. Mais il paraît en résulter aussi que ce facteur de sécurité ne pourra jamais être pris assez élevé pour que le matériel résiste aux surtensions accidentelles qui peuvent se produire soit involontairement, soit même lors de manœuvres inconsidérées. Il est donc de toute nécessité que des appareils équivalents à des soupapes de sûreté soient installés sur les conducteurs.

» Leur rôle est d'offrir à l'énergie oscillante un chemin spécial où elle ne rencontre que des résistances propres à la dégrader en chaleur. Cette quantité d'énergie oscillante n'est jamais bien considérable et la résistance appropriée pourra être assez élevée.

» On pourra remarquer encore que l'effet de l'accroissement de la capacité linéaire des conducteurs est, en général, plutôt bienfaisant. La crainte des capacités élevées, qui se manifeste souvent dans les discussions techniques sur cet ordre de sujets, est donc véritablement chimérique. C'est du moins mon opinion personnelle qu'il faut, au contraire, rechercher cette capacité, dans la mesure où elle peut être obtenue sans grands frais. Les oscillations exigent bien, sans doute, la coexistence de la self-induction et de la capacité; mais c'est la première seule qui définit la quantité d'énergie en jeu dans l'oscillation. Il semble que c'est surtout dans la diminution de cette self-induction qu'un résultat pourra être utilement poursuivi.

» Enfin, un dernier point qui ressort de l'exposé précédent est l'importance d'obtenir des forces électromotrices pures, dénuées de tous harmoniques dans toute la mesure du possible. Or, comme il ne paraît pas qu'aucun harmonique soit introduit par les câbles, c'est à leur suppression sur la génératrice et les récepteurs que

doivent tendre les efforts des constructeurs. Ces forces électromotrices pures reculeraient tellement loin la limite de la capacité résonnante que l'on n'aurait pas à craindre de jamais l'atteindre pratiquement. L'accroissement de la capacité serait alors l'une des meilleures précautions contre l'élévation de la tension; et elle serait facilement réalisable au moyen de condensateurs industriels, qui dans ces conditions deviendraient d'une fabrication facile. »

ANNEXE.

CAPACITÉ EN SERVICE DES LIGNES A CONDUCTEURS MULTIPLES (¹).

« L'emploi des courants polyphasés amène quelque complication dans l'évaluation de la capacité de câbles à conducteurs multiples. Voici comment on peut obtenir cette capacité :

» *Câbles à trois conducteurs.* — Considérons un câble comprenant trois âmes égales 1, 2, 3 et une enveloppe métallique *P*. Aux essais de laboratoire, on peut réaliser entre ces quatre conducteurs un assez grand nombre de combinaisons, dont chacune donne une capacité spéciale. On peut représenter le câble (*fig. 10*) comme formé de con-

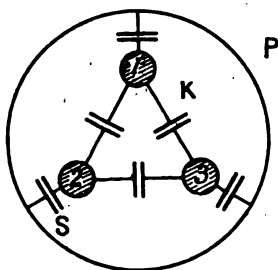


Fig. 10.

ducteurs sans capacité mais reliés à des condensateurs *S* et *K* disposés comme sur la figure. Par raison de symétrie les trois valeurs *K* et *S* sont respectivement égales entre elles. Le Tableau suivant donne les combinaisons possibles, et la valeur de la capacité résultante en fonc-

(¹) D'après les travaux du professeur Ch.-Eug. Guye.

tion de K et S . Deux essais sont donc nécessaires pour déterminer S et K , les capacités peuvent être calculées à l'avance pour les autres combinaisons, et l'expérience les vérifie sans difficulté.

Câbles à trois conducteurs.			
Combinaison.			Capacité.
Positifs.	Négatifs.	Isolés.	
1 + 2 + 3	P	—	$3S$
1 + 2	$3 + P$	—	$2(S + K)$
1	$2 + 3 + P$	—	$S + 2K$
1	P	2, 3	$S \left(1 + \frac{2K}{K + S} \right)$
1 + 2	P	3	$2S \left(1 + \frac{K}{2K + S} \right)$
1	2	3, P	$\frac{1}{2}(3K + S)$
1 + 2	3	P	$2 \left(K + \frac{S}{3} \right)$
1	$2 + P$	3	$\frac{1}{2}(2S + 3K)$

» Ce qu'on peut appeler la capacité d'un conducteur, en service,

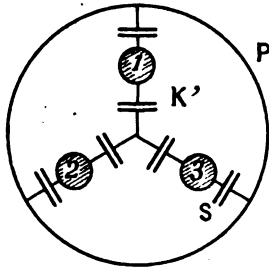


Fig. 11.

sera défini par $S + K'$, le condensateur K' étant défini par le groupement de la figure 11.

» On trouve aisément $K' = 3K$. Le courant de charge pour un tel câble alimenté sous la tension *composée* E , sera donc

$$I_c = \frac{E}{\sqrt{3}} \omega (S + 3K).$$

» Il se calcule donc comme si chaque conducteur était uniquement pourvu d'une capacité fictive avec le plomb, dont la valeur serait ici $C = S + 3K$.

» *Câbles à quatre conducteurs.* — Les combinaisons sont encore plus nombreuses. Mais on peut encore déduire le courant de charge, en service de la valeur d'un condensateur fictif unique, comme ci-dessus.

» En mesurant la combinaison $1|2+3+4+P$, on obtient une lecture C_1 ; en mesurant ensuite $1+4|2+3+P$, on obtient C_2 . La

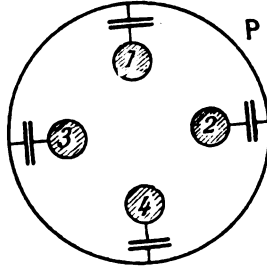


Fig. 12.

capacité fictive équivalente à celle d'un conducteur est $C = 2C_1 - \frac{C_2}{2}$.

» Le courant de charge, pour une tension diamétrale égale à E , sera donc

$$I_c = \frac{E}{2} \omega C.$$

» On peut traiter sans difficulté tous les problèmes analogues pour les divers types de canalisations employées industriellement (1). »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Picou de l'importante Communication qu'il a bien voulu faire avec tant de clarté et dont le sujet est de nature à susciter des observations du plus haut intérêt.

M. BRYLINSKI. — « I. Je crois, Messieurs, que nous devons tous être reconnaissants à M. Picou de l'exposé clair et élémentaire qu'il vient de nous faire des phénomènes de résonance, en groupant sous ce nom générique les oscillations propres et les résonances proprement dites.

» Ces exposés élémentaires, lorsqu'ils sont faits avec une semblable clarté, sont des plus utiles par les aperçus physiques qu'ils donnent des phénomènes. Mais, si leur utilité n'est pas contestable,

(1) Voir notamment : *Institution of Electrical Engineers*, 1901, p. 1022.

il n'est pas moins nécessaire, lorsqu'on désire se rendre un compte plus précis des phénomènes, d'approfondir un peu les questions, quitte à ce qu'elles deviennent parfois un peu plus rébarbatives. Les Mathématiques, employées avec modération, sont pour cela un moyen précieux, et je serai obligé d'en user, tout en restant dans les limites de calculs en somme élémentaires.

» La Communication que j'ai l'honneur de vous faire ce soir sera donc, à mon grand regret, beaucoup moins attrayante que celle de M. Picou, mais j'espère qu'elle vous intéressera cependant par les conclusions qui en découleront.

II. FERMETURE D'UN ALTERNATEUR.

» Je désire entamer d'abord la question de la fermeture d'un alternateur sur un réseau, opération courante. M. Picou arrive à cette conclusion qu'il faut s'attendre, dans la plupart des cas, à ce que la tension soit doublée. Cette conclusion est-elle bien générale?

» Certains renseignements pratiques que je possède indiquent, dans ce cas, des surtensions bien moindres que le doublement. Mais ce ne sont là que des résultats en nombre insuffisant pour trancher la question. Le cas est heureusement des plus simples à traiter par le calcul.

» Je supposerai, comme on le fait généralement, que la self-inductance du réseau et toutes les résistances sont négligeables devant la réactance de l'alternateur. De plus, toute la capacité du réseau sera supposée concentrée en un seul point, de sorte que (*fig. 1*) le réseau se réduira à un condensateur de capacité C , aux

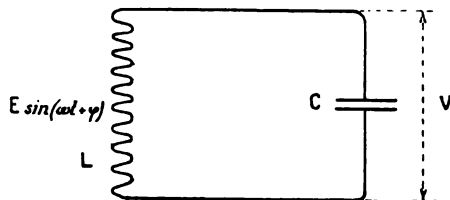


Fig. 1.

bornes duquel la tension a une valeur inconnue V , et l'alternateur se réduira à une bobine de réactance dont la self-inductance est L et la force électromotrice $E \sin(\omega t + \varphi)$.

» On pourrait se dispenser d'introduire le décalage φ , mais cela rend les calculs ultérieurs plus simples.

» Si I désigne l'intensité du courant d'échange entre l'alternateur et le réseau, les équations du problème sont extrêmement simples. Elles s'écrivent

$$U = E \sin(\omega t + \varphi) - L \frac{dI}{dt},$$

$$I = C \frac{dU}{dt}.$$

» Par conséquent

$$CL \frac{d^2 U}{dt^2} + U = E \sin(\omega t + \varphi).$$

» L'intégrale générale de cette équation est

$$U = \frac{E}{1 - CL\omega^2} \sin(\omega t + \varphi) + A \sin\left(\frac{t}{\sqrt{CL}} + B\right).$$

» Vous y reconnaissez immédiatement l'oscillation forcée

$$\frac{E}{1 - CL\omega^2} \sin(\omega t + \varphi)$$

et l'oscillation propre

$$A \sin\left(\frac{t}{\sqrt{CL}} + B\right).$$

» Cette simple équation renferme donc à elle seule toute la théorie élémentaire des résonances.

» Sans faire l'étude de cette théorie, nous nous bornerons à une remarque fondamentale.

» Par définition, lorsqu'il y a résonance, la période d'oscillation propre du réseau coïncide avec la période de l'oscillation forcée; ou, plus généralement, si l'oscillation forcée est une oscillation complexe résultant de la superposition de plusieurs oscillations simples de périodes différentes, l'une de ces oscillations simples entre en résonance lorsque la période d'oscillation propre du réseau vient à coïncider avec sa période.

» La résonance se produit donc ici pour

$$\frac{1}{\sqrt{CL}} = \omega,$$

c'est-à-dire

$$1 - \omega^2 CL = 0,$$

valeur qui fait croître indéfiniment la tension de l'oscillation forcée. En réalité, cette augmentation est limitée par les résistances que nous avons négligées, mais elle est toujours importante, et constitue bien le caractère connu des résonances acoustiques.

» La recherche de la période d'oscillation propre du réseau est souvent beaucoup plus difficile que celle des valeurs que prennent les oscillations forcées dans l'état permanent. Il est bon de noter dès à présent que l'étude des résonances dans l'état permanent donnera immédiatement la ou les périodes d'oscillation propre du réseau.

» Il s'agit maintenant de déterminer les paramètres A et B de l'oscillation propre. Avant que l'alternateur soit fermé sur le réseau, le courant I y est nul et la tension U aux bornes du condensateur est nulle. Or, puisque nous disposons de la phase φ , nous pouvons prendre comme origine des temps le moment précis de la fermeture et écrire que, pour

$$t = 0,$$

on doit avoir

$$U = 0,$$

$$I = 0,$$

d'où, comme

$$I = C \frac{dU}{dt} = \frac{CE\omega}{1 - CL\omega^2} \cos(\omega t + \varphi) + \frac{AC}{\sqrt{CL}} \cos\left(\frac{t}{\sqrt{CL}} + B\right),$$

les deux conditions

$$0 = \frac{E \sin \varphi}{1 - CL\omega^2} + A \sin B,$$

$$0 = \frac{CE\omega \cos \varphi}{1 - CL\omega^2} + \frac{CA}{\sqrt{CL}} \cos B.$$

» On tire de là

$$A \sin B = -\frac{E \sin \varphi}{1 - CL\omega^2},$$

$$A \cos B = -\frac{E\omega\sqrt{CL} \cos \varphi}{1 - CL\omega^2}$$

et par conséquent

$$A = -\frac{E}{1 - CL\omega^2} \sqrt{\sin^2 \varphi + \omega^2 CL \cos^2 \varphi},$$

$$\tan B = \frac{1}{\omega\sqrt{CL}} \tan \varphi.$$

» En général, $\omega\sqrt{CL}$ est notablement plus petit que 1, de sorte

qu'on aura une valeur approchée en même temps qu'une limite supérieure de la tension maxima en prenant la valeur

$$U_{\max} = \frac{E}{1 - CL\omega^2} = A = \frac{E}{1 - CL\omega^2} (1 + \sqrt{\sin^2 \varphi + \omega^2 CL \cos^2 \varphi}).$$

» Si, par exemple, l'oscillation propre du réseau a pour période celle du 10^e harmonique, on aura

$$10\omega\sqrt{CL} = 1.$$

Donc

$$U_{\max} = 1,01 E (1 + \sqrt{\sin^2 \varphi + 0,01 \cos^2 \varphi}).$$

» Ce maximum dépend de la phase φ et est le plus grand possible pour $\sin \varphi = \pm 1$.

» On a alors

$$U_{\max} = 2,02 E,$$

ce qui est bien le résultat annoncé par M. Picou.

» Mais il faut remarquer que cette valeur ne se présente qu'après une demi-période du son fondamental, soit, dans l'exemple choisi, après *cinq périodes complètes* de l'oscillation propre. Or cette dernière est en réalité une oscillation amortie, et son amplitude peut être déjà fortement diminuée après 5 périodes, de sorte qu'il est probable que la tension n'arrivera pas à doubler. En outre, c'est un pur hasard si l'on ferme juste au moment du maximum d'une période.

» En somme, pour que la fermeture double la tension, il faut réunir les quatre conditions suivantes :

- » 1^o Fermer au moment de l'amplitude maxima d'une période ;
- » 2^o Avoir un amortissement assez faible pour qu'il soit pratiquement insensible au bout de plusieurs périodes de l'oscillation propre ;
- » 3^o Avoir une oscillation propre de période beaucoup plus petite que la période fondamentale de l'oscillation forcée ;
- » 4^o Avoir une période d'oscillation propre suffisamment différente de celles des harmoniques de la machine, sans quoi la tension peut évidemment monter beaucoup.

» Cherchons à nous rendre compte du moment où peut se faire la fermeture. Portons (*fig. 2*) en ordonnées les écartements des deux côtés de l'interrupteur et en abscisses les temps.

» OA représente l'écartement des deux branches de l'interrupteur ouvert. Quand on le ferme, l'écartement diminue lentement d'abord, puis plus vite; par exemple, au temps OB' , l'écartement est encore $B'A'$, et enfin, au temps OB , l'interrupteur est fermé. Dans l'intervalle, à un moment inconnu, s'est établi l'arc qui a fermé réellement le circuit.

» Or à chaque écartement $A'B'$ correspond une tension à laquelle l'arc s'établit et au-dessous de laquelle il ne s'amorce pas. Cette tension est en relation simple avec l'écartement des deux pôles, pour un genre d'interrupteur donné, de telle sorte que, par un simple changement d'échelle, on peut considérer la courbe $AA'B$ comme représentant par rapport au temps non plus les écartements, mais les

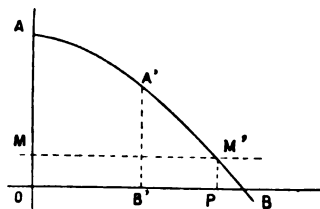


Fig. 2.

tensions d'amorçage de l'arc. Si nous portons en OM la tension maxima de la machine et si nous traçons la ligne MM' parallèle à OA , qui coupe la courbe des tensions d'amorçage au point M' correspondant au temps OP , il est évident que rien ne peut se passer jusqu'au temps OP et que la seule période pendant laquelle puisse se produire la fermeture est la période PB . Reportons donc cette fraction de la figure en l'agrandissant sur la figure 3 et traçons la ligne PM'' symétrique de PM' , puisque l'arc s'amorce indépendamment de la polarité. Tout dépend maintenant de la grandeur relative de la durée PB et de la période de l'alternateur.

» Il serait assez facile, à ce qu'il semble, de reproduire par un mécanisme analogue à celui de l'indicateur de Watt les déplacements d'un interrupteur donné par rapport au temps et de réaliser par conséquent la figure 2. Mais je n'ai pas connaissance que de pareils relevés aient été effectués et il faudra, par conséquent, nous contenter d'évaluations dont la précision laissera forcément à désirer.

» Le temps total OB de fermeture d'un interrupteur dépend évi-

demment du type de l'interrupteur et de l'homme qui le manœuvre. Il me semble cependant qu'il doit y avoir bien des cas où ce temps n'excède pas 1 seconde. Il faut voir maintenant quelle peut être l'importance du temps PB par rapport au temps OB . On peut dire que presque tous les interrupteurs sont faits pour *pouvoir* couper en charge (bien que ce soit là une manœuvre à éviter le plus possible); or, dans ces conditions et dès que l'intensité est un peu grande, l'arc se maintient, du moins à l'air, à des longueurs considérables. Là où la distance d'amorçage est de l'ordre du millimètre, la distance de rupture en charge se compte par décimètres.

» On peut admettre que OM est de l'ordre du centième de OA et, la courbe $AA'B$ étant concave vers l'axe des temps, nous aurons un maximum de PB en supposant ce temps égal au centième de OB , de

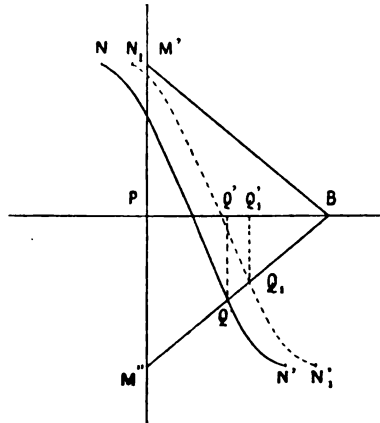


Fig. 3.

sorte que finalement PB serait de l'ordre de $\frac{1}{100}$ de seconde, soit une alternance pour un courant de 50 périodes et $\frac{1}{2}$ alternance pour un courant de 25 périodes.

» Supposons donc que PB soit égal à une demi-période. Le point P se trouve naturellement à un moment absolument quelconque de la période. Traçons une demi-période arbitraire NQN' . Nous voyons que ce n'est qu'au point Q que la tension sera suffisante pour que l'arc se ferme, et que cette tension QQ' n'est que les 0,55 de la tension maxima. Si même la période se présentait dans la phase figurée en pointillé en N, Q, N' , la tension de fermeture ne serait plus que

$$Q, Q' = 0,45 PM'.$$

» Il semble donc qu'on puisse conclure que, exception faite d'une région entourant la tension nulle et dont l'étendue peut être de l'ordre de la demi-tension maxima, la fermeture peut se faire à un moment quelconque de la période.

» Si nous jetons un coup d'œil très rapide sur les interrupteurs à huile, nous voyons que l'écartement normal de l'interrupteur ouvert y est beaucoup plus petit que dans les interrupteurs à air, mais que, par contre, la distance d'amorçage y est également plus petite et généralement la manœuvre totale de fermeture plus rapide, de sorte que nos conclusions subsistent *grosso modo*.

» Il était important de déterminer si vraiment la fermeture se faisait toujours, pour la haute tension, au moment du maximum de la tension, car cela aurait permis une notable simplification des équations.

» Revenons maintenant au cas de la fermeture d'un alternateur à onde complexe de la forme

$$\sum E_n \sin(n\omega t + \varphi_n).$$

» Nos équations subsistent sans changement essentiel et la solution est

$$V = \sum \frac{E_n}{1 - n^2 \omega^2 CL} \sin(n\omega t + \varphi_n) + A \sin\left(\frac{t}{\sqrt{CL}} + B\right).$$

» Les conditions aux limites sont les mêmes et donnent les nouvelles valeurs de A et B

$$\begin{aligned} 0 &= \sum \frac{E_n \sin \varphi_n}{1 - n^2 \omega^2 CL} + A \sin B. \\ 0 &= \sum \frac{C n \omega E_n \cos \varphi_n}{1 - n^2 \omega^2 CL} + \frac{CA}{\sqrt{CL}} \cos B. \end{aligned}$$

» D'où les valeurs

$$\begin{aligned} A \sin B &= - \sum \frac{E_n \sin \varphi_n}{1 - n^2 \omega^2 CL}, \\ A \cos B &= - \sum \frac{n \omega \sqrt{CL} E_n \cos \varphi_n}{1 - n^2 \omega^2 CL}. \end{aligned}$$

» On tirerait de là A par la racine carrée d'une somme de carrés, mais ce calcul fastidieux n'a pas d'intérêt, car on voit immédiatement que la tension de l'oscillation propre croît indéfiniment

chaque fois que la période de l'oscillation propre coïncide avec l'un quelconque des harmoniques de l'alternateur.

» Comme du reste, s'il est parfaitement exact que la période d'oscillation propre des réseaux est, en général, beaucoup plus petite que la période fondamentale des alternateurs, il arrive, par contre, très fréquemment, que cette période s'approche beaucoup de celle des harmoniques usuels des machines, la fermeture produira, dans bien des cas, des surtensions considérables dues, en réalité, à la présence des harmoniques, et contre lesquelles on se gardera par les mêmes procédés que contre les harmoniques dans le régime permanent.

» On pourrait être tenté de reporter les valeurs ci-dessus de A et B dans la formule de V . Le calcul donnerait des résultats inexacts à cause des résistances, que nous avons négligées, et qui ont une action très différente sur les oscillations forcées et sur l'oscillation propre.

III. RÔLE DES TRANSFORMATEURS.

» Abordons maintenant l'étude du rôle des transformateurs.

» Supposons que le réseau, au lieu d'être isolé à son extrémité, soit relié à un transformateur (*fig. 4*). A vide, c'est-à-dire à circuit

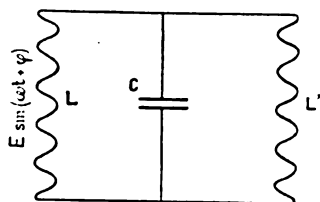


Fig. 4.

secondaire ouvert, le transformateur se comporte comme une bobine de réactance de self-induction L' très grande.

» Il suffit de comparer le schéma de la figure 4 à celui de la figure 1 (et si l'on fait la mise en équation on retombe également sur cette conclusion) pour voir que tout se passe comme dans le premier cas, à la seule condition de remplacer la self-inductance de la machine par une self-inductance fictive L_1 , calculée suivant la règle habituelle des inductances en parallèle, soit

$$\frac{1}{L_1} = \frac{1}{L} + \frac{1}{L'};$$

ce résultat s'étend immédiatement à un nombre quelconque de transformateurs.

» L'inductance L' étant très grande par rapport à L , son inverse $\frac{1}{L'}$ sera négligeable devant $\frac{1}{L}$ et l'on aura sensiblement

$$L_1 = L.$$

» Par conséquent, la connexion du réseau sur des transformateurs à vide ne change pas ses conditions de résonance.

» Dans l'exemple cité par M. Picou, on a

$$\omega L = 26,$$

$$\omega L' = 1300 = 50 \omega L.$$

Donc L_1 ne diffère de L que de 2 pour 100. C'est pratiquement négligeable.

» Mais comment se comportera le transformateur en charge ?

» On pourrait penser que sa self-inductance ne variera pas sensiblement; il me semble, au contraire, que la variation est très appréciable et parfois considérable.

» Ce point ayant une très grande importance au point de vue des résonances pratiques, et les calculs qui permettront de trancher la question étant, s'ils ne présentent aucune difficulté théorique, assez compliqués d'écriture, je désire vivement que ces calculs soient revus, et corrigés s'il y a lieu.

» Je supposerai, pour simplifier la question, que la charge du transformateur soit une simple résistance ohmique R_2 , par exemple des lampes à incandescence, dont la valeur R_2' corresponde à la charge normale maxima.

» Désignons (*fig. 5*) par

$$\begin{aligned} & U \sin \omega t, \\ & I_1 \sin(\omega t - \varphi_1), \\ & r_1 \quad \text{et} \quad L_1 \end{aligned}$$

les données du circuit primaire, qu'il est inutile de définir plus longuement,

$$\begin{aligned} & U_2 \sin(\omega t - \varphi_2), \\ & I_2 \sin(\omega t - \varphi_2), \\ & r_2 \quad \text{et} \quad L_2 \end{aligned}$$

les données correspondantes du circuit secondaire, et M le coefficient d'induction mutuelle.

» Négligeons l'hystérésis, qui est assez difficile à faire entrer dans les calculs; comme le champ magnétique reste sensiblement constant, la perte par hystérésis reste constante également; elle

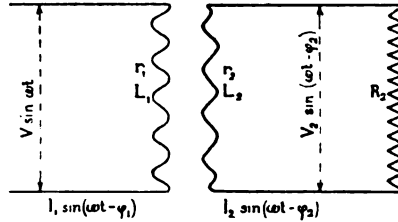


Fig. 5.

devient négligeable dès qu'il y a de la charge et, à vide, il est aisé de tenir compte du décalage qu'elle introduit et d'en déduire le courant *réactif* qui permet de calculer la réactance ωL_1 .

» Le champ magnétique étant sensiblement constant, les diverses inductances, qui sont proportionnelles à la perméabilité magnétique du noyau, ont des valeurs bien définies et pratiquement constantes, de sorte que l'on peut appliquer les équations élémentaires.

» Mais, auparavant, il convient de préparer le terrain aux simplifications qui seront nécessaires plus loin, et, profitant de ce que les transformateurs actuels sont, en somme, peu différents les uns des autres, nous allons appliquer nos calculs à un transformateur fictif, dont le courant primaire réactif à vide sera égal à 3 pour 100 du courant normal à pleine charge, dont les pertes dans le cuivre, par effet Joule, sont égales à 1 pour 100 de la puissance dans chaque circuit, et dont la dispersion est faible.

» Ces conditions s'écrivent

$$\frac{U}{\omega L_1} = \frac{3 I_1}{100},$$

$$r_1 I_1^2 = \frac{U I_1}{100}.$$

» Par conséquent,

$$\frac{r_1}{\omega L_1} = 3 \cdot 10^{-4};$$

puis

$$r_2 = \frac{R'_2}{100}$$

et

$$\frac{r_1}{\omega L_1} = \frac{r_2}{\omega L_2}.$$

Soit

$$r_1 L_2 = r_2 L_1,$$

et, par conséquent,

$$\frac{r_2}{\omega L_2} = 3 \cdot 10^{-4},$$

$$\frac{R'_2}{\omega L_2} = 3 \cdot 10^{-2}.$$

» Ceci posé, les équations du problème sont les suivantes :

$$\begin{aligned} U \sin \omega t &= r_1 I_1 \sin(\omega t - \varphi_1) + \omega L_1 I_1 \cos(\omega t - \varphi_1) - \omega M I_2 \cos(\omega t - \varphi_2), \\ 0 &= (r_2 + R_2) I_2 \sin(\omega t - \varphi_2) + \omega L_2 I_2 \cos(\omega t - \varphi_2) - \omega M I_1 \cos(\omega t - \varphi_1), \\ U_2 &= R_2 I_2. \end{aligned}$$

» Posons, pour simplifier l'écriture,

$$R = R_2 + r_2$$

et identifions. Il vient

$$\begin{aligned} U &= r_1 I_1 \cos \varphi_1 + \omega L_1 I_1 \sin \varphi_1 - \omega M I_2 \sin \varphi_2, \\ 0 &= -r_1 I_1 \sin \varphi_1 + \omega L_1 I_1 \cos \varphi_1 - \omega M I_2 \cos \varphi_2, \\ 0 &= R I_2 \sin \varphi_2 - \omega L_2 I_2 \cos \varphi_2 + \omega M I_1 \cos \varphi_1, \\ 0 &= R I_2 \cos \varphi_2 + \omega L_2 I_2 \sin \varphi_2 - \omega M I_1 \sin \varphi_1. \end{aligned}$$

» Par conséquent

$$\begin{aligned} \omega M U &= r_1 (\omega L_2 I_2 \cos \varphi_2 - R I_2 \sin \varphi_2) \\ &\quad + \omega L_1 (\omega L_2 I_2 \sin \varphi_2 + R I_2 \cos \varphi_2) - \omega^2 M^2 I_2 \sin \varphi_2, \\ 0 &= -r_1 (\omega L_2 I_2 \sin \varphi_2 + R I_2 \cos \varphi_2) \\ &\quad + \omega L_1 (\omega L_2 I_2 \cos \varphi_2 - R I_2 \sin \varphi_2) - \omega^2 M^2 I_2 \cos \varphi_2, \end{aligned}$$

ce qui s'écrit

$$\begin{aligned} \frac{\omega M U}{I_2} &= \omega (r_1 L_2 + R L_1) \cos \varphi_2 - (R r_1 - \omega^2 L_1 L_2 + \omega^2 M^2) \sin \varphi_2, \\ 0 &= -\omega (r_1 L_2 + R L_1) \sin \varphi_2 - (R r_1 - \omega^2 L_1 L_2 + \omega^2 M^2) \cos \varphi_2. \end{aligned}$$

» Si nous posons encore

$$\lambda^2 = L_1 L_2 - M^2,$$

nous aurons finalement

$$\begin{aligned} \frac{\omega^2 M^2 U^2}{I_2^2} &= \omega^2 (r_1 L_2 + R L_1)^2 + (R r_1 - \omega^2 \lambda^2)^2 \\ &= (R^2 + \omega^2 L_2^2) (r_1^2 + \omega^2 L_1^2) + \omega^2 M^2 [\omega^2 M^2 + 2 (R r_1 - \omega^2 L_1 L_2)]. \end{aligned}$$

Or

$$\frac{r_1^2}{\omega^2 L_1^2} = 9 \cdot 10^{-8}.$$

» Nous pouvons donc négliger r_1^2 devant $\omega^2 L_1^2$, qui ne disparaîtra pas dans les réductions ultérieures, à ce qu'il semble.

» Nous aurons alors

$$\begin{aligned} \frac{M^2 U^2}{I_2^2} &= L_1^2 (R^2 + \omega^2 L_2^2) + M^2 [\omega^2 M^2 + 2(Rr_1 - \omega^2 L_1 L_2)] \\ &= R^2 L_1^2 + \omega^2 \lambda^4 + 2Rr_1 M^2 \end{aligned}$$

et, par conséquent,

$$I_2 = \frac{MU}{\sqrt{R^2 L_1^2 + \omega^2 \lambda^4 + 2Rr_1 M^2}}$$

et

$$V_2 = \frac{MUR_2}{\sqrt{R^2 L_1^2 + \omega^2 \lambda^4 + 2Rr_1 M^2}}.$$

» A vide, R est infini, donc la tension secondaire a pour valeur

$$\frac{MU}{L_1}.$$

» La chute de tension relative du vide à la pleine charge, sur le secondaire, a par conséquent pour expression

$$\frac{\frac{MV}{L_1} - \frac{MUR_2}{\sqrt{R'^2 L_1^2 + \omega^2 \lambda^4 + 2R'r_1 M^2}}}{\frac{MV}{L_1}} = 1 - \frac{R_2}{\sqrt{R'^2 + \frac{\omega^2 \lambda^4 + 2R'r_1 M^2}{L_1^2}}}.$$

» Si nous admettons que cette chute de tension soit, par exemple, de 4 pour 100 en pleine charge non inductive, nous aurons

$$1 - \frac{R_2}{\sqrt{R'^2 + \frac{\omega^2 \lambda^4 + 2R'r_1 M^2}{L_1^2}}} = 0,04,$$

c'est-à-dire

$$R'^2 + \frac{\omega^2 \lambda^4 + 2R'r_1 M^2}{L_1^2} = 1,086 R'^2$$

et, par conséquent,

$$\omega^2 \lambda^4 + 2R'r_1 M^2 = 0,086 R'^2 L_1^2.$$

» On tire aisément de là la valeur de l'inductance mutuelle

$$\omega^2 M^2 = \omega^2 L_1 L_2 - R'r_1 - \sqrt{R'^2 r_1^2 + 0,086 \omega^2 R'^2 L_1^2 - 2R'r_1 \omega^2 L_1 L_2};$$

r_1^2 étant d'ailleurs négligeable devant $0,086\omega^2 L_1^2$, on a

$$\omega^2 M^2 = \omega^2 L_1 L_2 - [R' r_1 + \omega \sqrt{R' L_1 (0,086 R' L_1 - 2 r_1 L_2)}].$$

» D'ailleurs

$$2 r_1 L_2 = 2 r_2 L_1 = 0,02 R' L_1.$$

» Donc

$$\omega^2 M^2 = \omega^2 L_1 L_2 - R' (r_1 + \omega L_1 \sqrt{0,066})$$

et, comme r_1 est négligeable devant $0,256\omega L_1$, on a finalement

$$\omega^2 M^2 = \omega^2 L_1 L_2 - 0,256\omega R' L_1$$

et

$$\omega^2 \lambda^2 = 0,256\omega R' L_1.$$

» Ce résultat s'applique à tous les transformateurs de 4 pour 100 de perte de tension, où les résistances sont négligeables devant les réactances.

» Si nous précisons en adoptant la valeur

$$R' = 0,03\omega L_2,$$

nous aurons

$$\omega^2 \lambda^2 = 0,008\omega^2 L_1 L_2.$$

» Si maintenant nous calculons I_1 , nous aurons

$$\omega^2 M^2 I_1^2 = (R^2 + \omega^2 L_2^2) I_2^2,$$

soit

$$I_1 = I_2 \frac{\sqrt{R^2 + \omega^2 L_2^2}}{\omega M}.$$

» A pleine charge, R^2 est négligeable devant $\omega^2 L_2^2$ et l'on a

$$\omega M = 0,996\omega \sqrt{L_1 L_2}.$$

» On a donc, à quelques millièmes près, la formule connue

$$\frac{I_1}{I_2} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}.$$

» Il nous est bien facile maintenant de nous rendre compte du rôle du transformateur dans les résonances. Si nous combinons les schémas des figures 1 et 5 dans la figure 6, nous voyons immédiatement que les équations du problème sont

$$E \sin(\omega t + \varphi) - \omega L I \cos(\omega t - \varphi') = U \sin \omega t,$$

$$I \sin(\omega t - \varphi') - C \omega U \cos \omega t = I_1 \sin(\omega t - \varphi_1).$$

» Développant ces équations et identifiant, nous obtiendrons

$$\begin{aligned} E \cos \varphi &= (1 - CL\omega^2)U + \omega LI_1 \sin \varphi_1, \\ E \sin \varphi &= \omega LI_1 \cos \varphi_1. \end{aligned}$$

Par conséquent

$$E^2 = (1 - CL\omega^2)^2 V^2 + \omega^2 L^2 I_1^2 + 2\omega L(1 - CL\omega^2)UI_1 \sin \varphi_1.$$

» Nous venons de voir que

$$I_1^2 = U^2 \frac{R^2 + \omega^2 L_1^2}{\omega^2 L_1^2 R^2 + \omega^4 \lambda^2 + 2RR_1 M^2 \omega^2}$$

et l'on calcule immédiatement $I_1 \sin \varphi_1$ par les équations précédemment écrites qui donnent

$$I_1 \sin \varphi_1 = \frac{U}{\omega} \frac{R^2 L_1 + \omega^2 \lambda^2 L_2}{R^2 L_1^2 + \omega^2 \lambda^2 + 2RR_1 M^2},$$

de sorte qu'on a finalement

$$\frac{E^2}{U^2} = (1 - CL\omega^2)^2 + \frac{L^2(R^2 + \omega^2 L_1^2) + 2L(1 - CL\omega^2)(R^2 L_1 + \omega^2 \lambda^2 L_2)}{R^2 L_1^2 + \omega^2 \lambda^2 + 2RR_1 M^2}.$$

» La capacité qui produit la résonance s'obtient aisément en

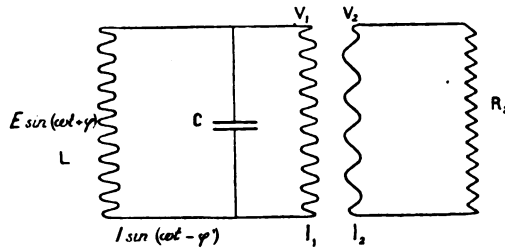


Fig. 6.

annulant la dérivée par rapport à C , soit

$$0 = -2\omega^2 L(1 - CL\omega^2) - \frac{2\omega^2 L^2(R^2 L_1 + \omega^2 \lambda^2 L_2)}{R^2 L_1^2 + \omega^2 \lambda^2 + 2RR_1 M^2},$$

ce qui donne

$$CL\omega^2 = 1 + L \frac{R^2 L_1 + \omega^2 \lambda^2 L_2}{R^2 L_1^2 + \omega^2 \lambda^2 + 2RR_1 M^2};$$

A vide, R est infini, par conséquent

$$CL\omega^2 = 1 + \frac{L}{L_1} \quad \text{ou} \quad CL'\omega^2 = 1,$$

en posant

$$\frac{1}{L'} = \frac{1}{L} + \frac{1}{L_1}.$$

C'est bien la composition des inductances indiquée précédemment.

» En charge, nous pouvons écrire

$$CL\omega^2 = 1 + \frac{L}{\varepsilon L_1},$$

ce qui veut dire que le transformateur, au lieu d'agir par la self-inductance L , de son primaire, agira par une self-inductance apparente εL_1 .

» La valeur de ε se déduit immédiatement des équations précédentes et est

$$\varepsilon = \frac{R^2 L_1^2 + \omega^2 \lambda^2 + 2 R r_1 M^2}{R^2 L_1^2 + \omega^2 \lambda^2 L_1 L_2}.$$

» Or, à pleine charge, on a

$$R'^2 L_1^2 + \omega^2 \lambda^2 + 2 R r_1 M^2 = 1,086 R'^2 L_1^2 \quad \text{et} \quad \omega^2 \lambda^2 = 0,256 \omega R' L_1.$$

» Donc le ε de la pleine charge a pour valeur

$$\varepsilon = \frac{1,086}{1 + 0,256 \frac{\omega L_2}{R'}} = \frac{1,086}{1 + 0,256 \times \frac{100}{3}} = \frac{1,086}{9,5} = 0,114.$$

» Ainsi, à pleine charge non inductive, la self-inductance apparente du transformateur serait *neuf fois* plus faible qu'à vide.

» Il en résulte une variation dans l'ordre de l'harmonique qui résonnera. Au lieu d'être l'harmonique n , ce sera, par exemple, l'harmonique Kn qui résonnera en charge, et l'on aura

$$\frac{1}{L} + \frac{1}{\varepsilon L_1} = \frac{K^2}{L'} = K^2 \left(\frac{1}{L} + \frac{1}{L_1} \right).$$

» D'où l'on tire

$$K = \sqrt{\frac{\frac{1}{L} + \frac{1}{\varepsilon L_1}}{\frac{1}{L} + \frac{1}{L_1}}} = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon} \frac{L + \varepsilon L_1}{L + L_1}}.$$

» Dans l'exemple cité par M. Picou, nous avons

$$\omega L = 26, \quad \omega L_1 = 1300.$$

» Donc

$$K = \sqrt{\frac{26 + 148}{3 + 148}} = \sqrt{1,15} = 1,08.$$

» L'ordre de l'harmonique résonnant serait donc augmenté de 8 pour 100. Cela peut paraître peu. Cependant si l'harmonique résonnant à vide est de l'ordre du 10^e, par exemple 10,2, l'harmonique résonnant en charge sera le 11^e, qui se trouve dans beaucoup de machines, et le réseau peut ainsi se trouver dans de beaucoup moins bonnes conditions au point de vue de la résonance en charge qu'à vide.

» Il n'est bien entendu question ici que de l'ordre de l'harmonique résonnant et non pas de l'amplification de cet harmonique, qui ne peut être obtenue que par un calcul beaucoup trop compliqué pour que nous songions à nous y engager.

» Si nous allons jusqu'au cas d'un court-circuit sur le secondaire du transformateur, R' descend jusqu'à r_2 et l'on a

$$\varepsilon = \frac{1,086}{1 + \frac{0,256 \times 10^4}{3}} = \frac{1,086}{854} = \frac{1}{785},$$

ce qui donne

$$K = \sqrt{785 \times \frac{26 + 1,6}{1326}} = \sqrt{16} = 4.$$

» Si, par exemple, c'est le 7^e harmonique qui est en résonance à vide, ce serait le 28^e qui résonnerait en court-circuit. Ce cas du court-circuit général sur le secondaire est évidemment purement théorique, mais l'étendue de la variation montre qu'un court-circuit venant à se produire sur le secondaire d'un transformateur un peu important peut altérer notablement l'ordre de l'harmonique résonnant, c'est-à-dire, en somme, la période d'oscillation propre du système *réseau-machines*. Comme ces courts-circuits sont généralement accompagnés d'oscillations propres quand ils se forment et quand ils se coupent, il peut résulter de là des surtensions tout à fait imprévues.

» Il serait aisé de refaire tous ces calculs pour une charge inductive sur le secondaire, par exemple pour un réseau de lampes à arc, mais ce serait un peu fastidieux. Je me bornerai à remarquer que, à puissance égale, la chute de tension est beaucoup plus grande pour une charge inductive que pour une charge non inductive. On peut donc admettre, jusqu'à plus ample informé, que la variation de la période d'oscillation propre du réseau doit être plus marquée pour une charge inductive que pour une charge non inductive.

IV. FACTEUR DE SURTENSION ET CALCUL DE LA CAPACITÉ.

» Avant d'en arriver à l'étude de la résonance d'un réseau, qui nous amènera à quelques résultats nouveaux, je désire dire deux mots du *facteur de surtension* et du *calcul de la capacité des câbles polyphasés*.

» Le facteur de surtension a été calculé par M. Picou dans l'hypothèse que le réseau est réduit à un condensateur. En réalité, le réseau comporte une résistance et une capacité *réparties*, et l'expression du facteur de surtension est une expression très compliquée, que je n'ai pas encore réussi à simplifier suffisamment pour qu'elle soit intéressante à vous présenter, mais qui diffère sensiblement de celle à laquelle amène l'hypothèse de la résistance et de la capacité *concentrées* en un point.

» Il ne faudrait donc pas attacher une importance exagérée aux valeurs que donne la formule du facteur de surtension.

» En ce qui concerne le calcul des capacités, il y a lieu de remarquer que M. Picou, comme d'ailleurs presque tous ceux qui ont publié des calculs de ce genre, traite les conducteurs d'un câble comme des condensateurs isolés, qu'il groupe en parallèle ou en série, suivant les règles ordinaires. Or cette assimilation n'est pas absolument rigoureuse.

» Un condensateur isolé est un ensemble dans lequel la répartition du flux d'induction électrostatique est parfaitement définie et pratiquement indépendante du voisinage d'autres corps électrisés.

» Au contraire, la distribution du flux d'induction électrostatique dans un câble dépend essentiellement de la répartition des potentiels sur les différents conducteurs, et pas seulement du potentiel de l'un ou l'autre d'entre eux, et le mot *capacité* n'a même de sens que lorsque la somme totale des charges que possèdent les différents conducteurs est nulle.

» Il en résulte que le problème de la détermination de la capacité d'un câble polyphasé est un problème extrêmement compliqué et dont je ne connais pas, en ce qui me concerne, de solution générale jusqu'à présent.

» Ce n'est pas une raison pour ne pas employer le schéma de M. Picou, en attendant mieux; peut-être pourra-t-on démontrer un

jour que ce schéma est rigoureusement exact, peut-être même cette démonstration a-t-elle été faite et, dans ce cas, je serais très heureux de la connaître. Mais, en attendant, il m'a semblé utile d'indiquer qu'il est nécessaire de mettre beaucoup de prudence dans les calculs de capacités de conducteurs.

V. RÉSONANCE SUR UN RÉSEAU.

» Voyons maintenant ce que devient la résonance sur un *réseau* et non plus sur un simple conducteur.

» Considérons d'abord une ligne seule à deux conducteurs.

» Soient (*fig. 7*) :

x la distance d'un point à l'origine,
 l la longueur de la ligne,
 L la self inductance —
 R la résistance —
 C la capacité —
 R_1 l'isolement —

Les équations de propagation du courant sont, en appelant V la dif-

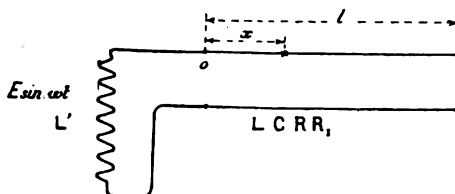


Fig. 7.

férence du potentiel entre les deux conducteurs, et I l'intensité

$$-\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{R}{l} I + \frac{L}{l} \frac{\partial I}{\partial t}$$

$$-\frac{\partial I}{\partial x} = \frac{C}{l} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{U}{R_1 l},$$

qui donnent

$$l^2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \frac{R}{R_1} V + \left(CR + \frac{L}{R_1} \right) \frac{\partial V}{\partial t} + CL \frac{\partial^2 V}{\partial t^2}.$$

» Cette équation peut être traitée facilement, mais donne lieu à des calculs extrêmement compliqués. Nous allons donc simplifier beaucoup en négligeant d'une part les pertes par isolement, dont l'effet est très faible, et d'autre part la résistance qui joue un rôle d'amortissement très important, mais ne modifie pas la valeur des périodes résonnantes.

» L'équation se réduit dès lors à

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = \frac{CL}{l^2} \frac{\partial^2 V}{\partial t^2}.$$

» Cette équation est une des rares équations aux différentielles partielles d'ordre supérieur dont l'intégration soit immédiate. Nous pourrions donc étudier complètement l'état variable et l'état permanent.

» Mais, comme l'étude de l'état permanent est beaucoup plus facile, que cette étude nous donnera les périodes propres d'oscillation du réseau, et que les résultats seraient, pour l'état variable, complètement faussés par l'absence des résistances, nous nous bornerons à l'étude de l'état permanent, c'est-à-dire des oscillations forcées.

» Si $\frac{2\pi}{\omega}$ est la période d'une oscillation forcée, l'expression de V sera de la forme

$$U = A_1 \sin \omega t + B_1 \cos \omega t,$$

A_1 et B_1 étant des fonctions de x seulement.

» En les reportant dans l'équation différentielle, on trouve

$$\begin{aligned} \frac{d^2 A_1}{dx^2} &= - \frac{CL\omega^2}{l^2} A_1, \\ \frac{d^2 B_1}{dx^2} &= - \frac{CL\omega^2}{l^2} B_1. \end{aligned}$$

» De telle sorte que, si nous posons

$$b^2 = CL\omega^2,$$

nous aurons

$$\begin{aligned} A_1 &= A \sin \frac{bx}{l} + B \cos \frac{bx}{l}, \\ B_1 &= A' \sin \frac{bx}{l} + B' \cos \frac{bx}{l}. \end{aligned}$$

» Si I_0 et I_l sont les intensités à l'origine et à l'extrémité de la ligne, les conditions aux limites sont, en désignant par L' la self-inductance de l'alternateur, et supposant la ligne isolée à l'extrémité,

$$\begin{aligned} I_l &= 0, \\ U_0 &= E \sin \omega t - L' \frac{dI_0}{dt}. \end{aligned}$$

» Or

$$\begin{aligned}\frac{L}{l} \frac{\partial I}{\partial t} &= - \frac{\partial U}{\partial x} \\ &= - \frac{b}{l} \left[\left(A \cos \frac{bx}{l} - B \sin \frac{bx}{l} \right) \sin \omega t + \left(A' \cos \frac{bx}{l} - B' \sin \frac{bx}{l} \right) \cos \omega t \right].\end{aligned}$$

» D'où l'on tire

$$\begin{aligned}\frac{L}{l} \frac{\partial^2 I}{\partial t^2} &= - \frac{\omega^2 L}{l} I \\ &= - \frac{b\omega}{l} \left[\left(A \cos \frac{bx}{l} - B \sin \frac{bx}{l} \right) \cos \omega t \right. \\ &\quad \left. - \left(A' \cos \frac{bx}{l} - B' \sin \frac{bx}{l} \right) \sin \omega t \right].\end{aligned}$$

» Si nous faisons dans cette formule

$$x = l,$$

nous devons avoir

$$I = 0$$

quel que soit t . Par conséquent,

$$A \cos b = B \sin b,$$

$$A' \cos b = B' \sin b.$$

» Par contre,

$$L \frac{dI_0}{dt} = -b(A \sin \omega t + A' \cos \omega t).$$

» Donc

$$V_0 = B \sin \omega t + B' \cos \omega t = E \sin \omega t + b \frac{L'}{L} (A \sin \omega t + A' \cos \omega t);$$

cette identité devant avoir lieu quel que soit t , on en déduit

$$B = E + \frac{bL'}{L} A = E + \frac{bL'}{L} B \tan b,$$

$$B' = b \frac{L'}{L} A' = b \frac{L'}{L} B' \tan b.$$

» On tire de là

$$A' = B' = 0,$$

$$B = \frac{E}{1 - \frac{bL'}{L} \tan b} = \frac{E \cos b}{\cos b - \frac{bL'}{L} \sin b},$$

$$A = \frac{E \tan b}{1 - \frac{bL'}{L} \tan b} = \frac{E \sin b}{\cos b - \frac{bL'}{L} \sin b} = \frac{E}{\cot b - \frac{bL'}{L}}.$$

» L'expression de U est donc

$$U = \frac{E \sin \omega t}{\cos b - \frac{bL'}{L} \sin b} \left(\sin b \sin \frac{bx}{l} + \cos b \cos \frac{bx}{l} \right)$$

ou

$$U = \frac{E \sin \omega t}{\cos b - \frac{bL'}{L} \sin b} \cos b \left(1 - \frac{x}{l} \right).$$

» Le maximum de U a évidemment lieu pour

$$\cos b \left(1 - \frac{x}{l} \right) = 1;$$

soit

$$b \left(1 - \frac{x}{l} \right) = 0$$

ou

$$x = l,$$

c'est-à-dire à l'extrémité de la ligne. Il ne faut pas oublier que les résistances que nous avons négligées, et qui ont pour effet d'amortir V lorsque x augmente, peuvent modifier ce résultat dans la pratique. Mais, pour la ligne non amortie, c'est à l'extrémité de la ligne que la tension est maxima.

» Dans le cas où b serait supérieur à π , ce qui serait un cas très exceptionnel, la tension serait maxima en plusieurs points de la ligne, déterminés par l'équation

$$b \left(1 - \frac{x}{l} \right) = K\pi.$$

» Soit

$$x = l \left(1 - \frac{K\pi}{b} \right);$$

toutes les valeurs entières de K donnant des valeurs *positives* de x donneraient des points de tension maxima; mais, comme toutes ces tensions maxima seraient égales entre elles, il n'y a pas lieu d'insister sur ce point.

» Nous avons, d'ailleurs,

$$U_{\max} = \frac{E \sin \omega t}{\cos b - \frac{bL'}{L} \sin b},$$

et l'on voit immédiatement que la résonance est donnée par la con-

dition

$$\cos b - \frac{bL'}{L} \sin b = 0,$$

ou, comme $\cos b$ est forcément différent de *zéro*, pour que cette condition puisse être réalisée,

$$\frac{bL'}{L} \tan b = 1.$$

» Cette condition remplace la condition ordinaire

$$\omega^2 CL' = 1,$$

mais elle en diffère par un point essentiel, qu'il est indispensable de signaler tout de suite.

» Tandis que l'ordre n de l'harmonique résonant est donné par la condition

$$n = \frac{1}{\omega \sqrt{CL}},$$

il l'est ici par la condition

$$\frac{nbL'}{L} \tan nb = 1.$$

» Or, tandis que l'équation

$$n = \frac{1}{\omega \sqrt{CL}}$$

est satisfaite par une et *une seule* valeur de n , la condition

$$\frac{nbL'}{L} \tan nb = 1$$

admet *une infinité* de solutions, de sorte que, sur un réseau, il y a, non pas *une* période résonante, ou, si l'on veut, *une* période d'oscillation propre, mais bien une oscillation propre complexe, formée de la superposition d'*une infinité* d'oscillations simples dont *chacune* est susceptible de provoquer la résonance d'un harmonique s'il s'en trouve de même période.

» Vous estimerez sans doute, Messieurs, que l'importance de ce résultat mérite qu'on pousse un peu plus loin cette nouvelle théorie.

» Lorsque b est extrêmement petit, on peut poser

$$\tan nb = nb,$$

et la condition devient

$$1 = \frac{n^2 b^2 L'}{L} = \frac{n^2 \omega^2 C L L'}{L} = n^2 \omega^2 C L';$$

on retombe sur la condition habituelle, comme on pouvait s'y attendre, mais avec cette différence qu'on n'a ainsi que le premier des harmoniques résonants, tandis qu'il y en a, en réalité, une infinité.

» Si b , tout en étant petit, l'est moins, on peut poser

$$\operatorname{tang} nb = nb + \frac{n^3 b^3}{3},$$

et alors la condition de résonance devient

$$\frac{n^2 b^2 L'}{L} + \frac{n^4 b^4 L'}{3L} = 1$$

ou

$$n^2 \omega^2 C L' + \frac{n^4 \omega^4 C^2 L L'}{3} = 1.$$

» D'où l'on tire

$$n^2 \omega^2 C L' = 1 - \frac{L}{3L'},$$

et l'on voit intervenir la self-inductance du réseau.

» Si enfin b est encore plus grand, on ne peut plus employer de développement en série, et il faut faire dans chaque cas particulier un calcul d'approximations successives.

» Il importe donc de se rendre compte de l'ordre de grandeur de b . Or

$$b^2 = \omega^2 C L = \omega^2 C L' \times \frac{L}{L'};$$

$\omega^2 C L'$ est une quantité dont l'ordre de grandeur nous est connue, et qui varie en général entre $\frac{1}{50}$ et $\frac{1}{100}$; la valeur de b dépend donc du rapport $\frac{L}{L'}$.

» On admet d'une façon très générale que la self-inductance des câbles souterrains est très faible et par conséquent négligeable; mais cette opinion est-elle bien conforme à la réalité?

» Laissons de côté les câbles concentriques, quoiqu'ils se prêtent très bien au calcul, en raison de ce que leur emploi tend plutôt à se restreindre, et bornons-nous aux câbles cordés.

» Il est bien vrai que dans ces câbles le rapport des distances des

axes des conducteurs aux rayons de ces conducteurs, qui est le facteur principal dans la valeur de la self-inductance, est *beaucoup* plus petit que dans les lignes aériennes, environ 300 *fois* plus petit. Mais, comme ce rapport entre sous le signe logarithmique, la variation est beaucoup moindre pour les self-inductances, et la self-inductance d'un câble ne serait guère que *trois fois et demie* plus petite, c'est-à-dire *presque d'un millihenry* par kilomètre.

» Ce serait déjà loin d'être négligeable, mais cette évaluation ne tient pas compte d'un élément essentiel, qui est l'armure de fer employée dans presque tous les câbles d'énergie actuels.

» Mon attention a été attirée sur ce point par des essais faits il n'y a pas très longtemps en Danemark, en vue d'améliorer la transmission téléphonique sur les câbles sous-marins au moyen d'une enveloppe de fils de fer très fins tressés devant augmenter la self-inductance. Les essais ont, paraît-il, parfaitement réussi et augmenté, bien que la perméabilité magnétique fût restée inférieure à 100, la self-inductance dans une proportion telle que je n'ose vous en rappeler le chiffre, craignant qu'il n'y ait eu quelque erreur dans celui qui a été publié.

» Néanmoins, et quelle que soit la valeur réelle trouvée pour la self-inductance, il ressort du moins avec certitude que l'armure de fer a notablement augmenté cette self-inductance, et il ne semble pas douteux qu'avec les courants industriels, qui doivent porter la perméabilité de l'armure au delà de 2000 dans bien des cas, l'augmentation eût été encore bien plus sensible.

» En l'absence de tout résultat expérimental sur ce point, j'ai cherché, sans succès d'ailleurs, à établir la formule théorique de la self-inductance, puis simplement à me rendre compte, d'une manière approximative et assurément bien incertaine, de quel ordre pouvait être cette self-inductance dans les câbles armés cordés et je suis arrivé à la conclusion qu'elle était sans doute de l'ordre de celle des lignes aériennes, soit de *deux à trois millihenrys* par kilomètre, peut-être même passablement plus grande.

» Prenons le chiffre de 0,003 et un courant de 50 périodes par seconde. La réactance kilométrique du câble sera

$$\frac{3 \times 314}{1000} = 0,95,$$

et si le câble a seulement 20^{km} de longueur, la réactance totale du câble sera égale à 19 *ohms*.

» Comparez ce chiffre à la réactance de l'alternateur cité par M. Picou et qui est de 26 *ohms*, songez que cet alternateur est de faible puissance et que, pour une puissance plus forte sous la même tension, la réactance baisserait en raison inverse de la puissance à peu près et vous verrez que non seulement la self-inductance d'un réseau souterrain peut être de l'ordre de la self-inductance de l'alternateur qui le dessert, mais que même elle pourra bien souvent la dépasser notablement.

» Nous avons supposé la ligne isolée à l'extrémité. Il est très facile de traiter le cas où elle est fermée sur une bobine de réactance dont la self-inductance est L'' , ce qui nous donnera la solution du cas des transformateurs.

» Les équations du problème sont les mêmes, à part la condition à l'extrémité, qui, au lieu d'être

$$I_t = 0,$$

deviendra

$$U_t = L'' \frac{dI_t}{dt}.$$

» Les équations de condition deviennent donc

$$\begin{aligned} B \sin \omega t + B' \cos \omega t &= E \sin \omega t + \frac{bL'}{L} (A \sin \omega t + A' \cos \omega t), \\ (A \sin b + B \cos b) \sin \omega t + (A' \sin b + B' \cos b) \cos \omega t \\ &= - \frac{bL''}{L} [(A \cos b - B \sin b) \sin \omega t + (A' \cos b - B' \sin b) \cos \omega t]. \end{aligned}$$

» D'où l'on tire

$$\begin{aligned} B &= E + \frac{bL'}{L} A, & B' &= \frac{bL'}{L} A', \\ A \sin b + B \cos b + \frac{bL''}{L} (A \cos b - B \sin b) &= 0, \\ A' \sin b + B' \cos b + \frac{bL''}{L} (A' \cos b - B' \sin b) &= 0. \end{aligned}$$

» Si nous posons, pour simplifier l'écriture,

$$\frac{bL'}{L} = \tan \alpha,$$

$$\frac{bL''}{L} = \tan \beta,$$

ces équations donnent

$$A' = B' = 0;$$

$$A = - \frac{E \cos(b + \beta)}{\tan \alpha \cos(b + \beta) + \sin(b + \beta)},$$

$$B = \frac{E \sin(b + \beta)}{\tan \alpha \cos(b + \beta) + \sin(b + \beta)},$$

et par conséquent

$$V = \frac{E \sin \omega t}{\tan \alpha \cos(b + \beta) + \sin(b + \beta)} \sin \left[b \left(1 - \frac{x}{l} \right) + \beta \right].$$

» Le maximum de V a lieu pour la valeur de x qui rend maximum le sinus, et peut être, suivant les cas, soit à l'extrémité de la ligne, auquel cas le sinus se réduit à $\sin \beta$; soit en un point de la ligne qui donne au sinus la valeur 1.

» Nous avons donc

$$U_{\max} = \frac{E \sin \omega t \cos \alpha}{\sin(b + \alpha + \beta)} \quad (1 \text{ ou } \sin \beta),$$

et la résonance aura lieu pour

$$\sin(b + \alpha + \beta) = 0,$$

ou, condition équivalente,

$$\tan(b + \alpha + \beta) = 0.$$

» Or

$$\begin{aligned} \tan(b + \alpha + \beta) &= \frac{\tan b + \frac{\tan \alpha + \tan \beta}{1 - \tan \alpha \tan \beta}}{1 - \tan b \frac{\tan \alpha + \tan \beta}{1 - \tan \alpha \tan \beta}} \\ &= \frac{\tan b + \frac{b}{L} \frac{L' + L''}{1 - b^2 L' L''}}{\frac{L^2}{1 - \tan b \times \frac{b}{L} \frac{L' + L''}{1 - b^2 L' L''}}} = 0. \end{aligned}$$

» Pour réaliser cette condition, on peut annuler le numérateur ou faire croître indéfiniment le dénominateur.

» Si l'on fait tendre $1 - b^2 L' L''$ vers 0, la fraction tend vers $\frac{1}{\tan b}$ et non pas vers 0. D'autre part, tous les termes du dénominateur ayant des valeurs finies, on ne voit pas le moyen de le faire

croître indéfiniment; il faut donc poser

$$\operatorname{tang} b = -bL \frac{L' + L''}{L^2 - b^2 L' L''} = -\frac{1}{\frac{L}{bL'} - \frac{bL''}{L}} - \frac{1}{\frac{L}{bL''} - \frac{bL'}{L}},$$

expressions très simples, qui seraient encore susceptibles d'autres transformations. Remarquons seulement que, dans le cas où L est petit par rapport à bL' et bL'' , on obtient sensiblement

$$\operatorname{tang} b = \frac{L}{b} \left(\frac{1}{L'} + \frac{1}{L''} \right) = \frac{L}{b\lambda}$$

en posant

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{L'} + \frac{1}{L''},$$

c'est-à-dire la condition même de résonance de la ligne isolée à l'extrémité, en prenant comme self-inductance la self-inductance combinée de l'alternateur et du transformateur.

» Examinons maintenant sommairement le cas où, au lieu d'un câble, nous avons en parallèle sur une machine plusieurs câbles dont les extrémités sont isolées.

» Pour chacun de ces câbles nous avons

$$U_K = \left(A_K \sin \frac{b_K x}{l} + B_K \cos \frac{b_K x}{l} \right) \sin \omega t$$

et

$$L_K \frac{dI_{K,0}}{dt} = -b_K A_K \sin \omega t,$$

avec les conditions

$$A_K = B_K \operatorname{tang} b_K,$$

$$E \sin \omega t + L' \sum \frac{b_K A_K}{L_K} \sin \omega t = B \sin \omega$$

» Car évidemment la tension à l'origine

$$V_0 = B_K \sin \omega t$$

est la même pour tous les câbles.

» Nous avons donc

$$B \left(1 - L' \sum \frac{b_K \operatorname{tang} b_K}{L_K} \right) = E,$$

et l'on arrive immédiatement, par les mêmes calculs que nous avons

déjà faits, à l'équation

$$U_K = \frac{E \sin \omega t}{\cos b_K \left(1 - L' \sum \frac{b_K \tan b_K}{L_K} \right)} \cos b_K \left(1 - \frac{x}{l} \right)$$

qui prouve que pour chacune des lignes la tension maxima est à l'extrémité isolée et qui donne pour la résonance la condition

$$1 = L' \sum \frac{b_K \tan b_K}{L_K},$$

tout à fait analogue à celle trouvée précédemment pour une seule ligne.

» Si, pour préciser, nous supposons avoir en parallèle K câbles identiques, pour *chacun* desquels on aura les valeurs b , C et L , nous aurons

$$\sum \frac{b_K \tan b_K}{L_K} = K b \frac{\tan b}{L} = \frac{b \tan b}{\left(\frac{L}{K} \right)},$$

et la condition de résonance est

$$1 = b \frac{L'}{\left(\frac{L}{K} \right)} \tan b.$$

ce qui est l'équation précédemment trouvée pour la ligne seule, en remplaçant seulement L par $\frac{L}{K}$. Du moment que b reste le même, il faut remplacer C par KC , d'où la règle que les capacités des lignes en parallèle se composeront par simple addition et les self-inductances par l'addition des inverses, comme d'habitude.

» Il y a là un point très important, car il différencie complètement la manière dont se comporterait un groupe de K câbles en parallèle, ou un seul câble K fois plus long.

» VI. Il ne nous reste plus qu'à jeter un coup d'œil sommaire sur les effets qu'on peut prévoir par suite de cette nouvelle théorie.

» Pour le premier harmonique résonnant, dès qu'on connaît le rapport $\frac{L}{L'}$, l'équation

$$\tan n b = \frac{1}{n b} \frac{L}{L'}$$

est une équation numérique qui se résout aisément par approxima-

tions successives. Voici quelques résultats : pour $L = L'$, on trouve

$$nb = 0,86 \quad \text{au lieu de} \quad nb = 1$$

que donne la théorie habituellement admise ; pour $L = 2L'$, on trouve

$$nb = 1,08 \quad \text{au lieu de} \quad nb = 1,414;$$

pour $L = 3L'$ on trouve

$$nb = 1,10 \quad \text{au lieu de} \quad nb = 1,732;$$

c'est-à-dire que, dans le premier cas, l'harmonique résonnant est les 0,86, dans le deuxième cas, les 0,76, et dans le troisième cas, les 0,69 de celui qu'on aurait trouvé par la théorie ordinaire.

» Nous avons ainsi obtenu le premier harmonique résonnant ; il est facile d'obtenir les autres.

» Posons, en effet,

$$nb = K\pi + x,$$

K étant un entier positif quelconque, et supposons x assez petit pour qu'on puisse écrire

$$\text{tang } x = x;$$

c'est-à-dire

$$\frac{x^2}{3} \leq \varepsilon,$$

ε étant la limite d'erreur qu'on se fixe. Ce sera une condition à vérifier.

» Nous aurons dès lors

$$\text{tang } nb = \text{tang}(K\pi + x) = \text{tang } x = x,$$

d'où, pour la résonance,

$$\frac{L'}{L}(K\pi + x)x = 1;$$

c'est-à-dire

$$x^2 + K\pi x - \frac{L}{L'} = 0,$$

ce qui donne

$$x = -\frac{K\pi}{2} + \sqrt{\frac{K^2\pi^2}{4} + \frac{L}{L'}}.$$

Il est aisé de voir que le signe — devant le radical ne convient pas.

» Si $\frac{L}{L'}$ n'est pas grand, ce qui est souvent le cas, on peut écrire

$$\sqrt{\frac{K^2 \pi^2}{4} + \frac{L}{L'}} = \frac{K\pi}{2} \sqrt{1 + \frac{4L}{K^2 \pi^2 L'}} = \frac{K\pi}{2} + \frac{L}{K\pi L'}$$

et, par conséquent,

$$x = \frac{L}{K\pi L'},$$

d'où la solution générale

$$nb = K\pi + \frac{L}{K\pi L'}.$$

Pour que la condition

$$x^2 \leq 3\varepsilon$$

soit réalisée, il faut que

$$\frac{L^2}{K^2 \pi^2 L'^2} \leq 3\varepsilon$$

où

$$K^2 \geq \frac{L^2}{3\varepsilon \pi^2 L'^2}.$$

Si, par exemple, on prend

$$\varepsilon = \frac{1}{100},$$

on devra avoir

$$K^2 \geq \frac{100}{3\pi^2} \frac{L^2}{L'^2};$$

c'est-à-dire

$$K \geq 1,8 \frac{L}{L'}$$

et, pour peu que l'on ait

$$L \leq \frac{L'}{1,8},$$

ce qui sera un cas très général, on pourra calculer ainsi tous les harmoniques au delà du premier, qui a été calculé directement.

» Examinons rapidement quelques exemples : supposons d'abord

$$b = 0,05,$$

$$L' = L;$$

le premier harmonique résonnant sera

$$n_1 \times 0,05 = 0,86.$$

soit

$$n_1 = 17,2$$

et les autres seront

$$\begin{aligned} n_2 &= 68,5, \\ n_3 &= 129, \\ n_4 &= 191, \\ n_5 &= 253, \\ &\dots\dots\dots, \\ n_K &= 20K\pi = 62,83 \times K. \end{aligned}$$

» Dans un pareil réseau, il y aurait bien peu de chances qu'un harmonique autre que le premier vint à résonner.

» Mais supposons que b monte à la valeur 0,3, la série des harmoniques résonnants devient

$$2,9 - 11,4 - 21,5 - 32 - 44 - \dots$$

et il y a au moins quatre harmoniques susceptibles de résonner.

» Supposons qu'on aille plus loin et que, comme l'avait envisagé M. Maurice Leblanc, mais en supposant en plus que L' reste égal à L , on réalise la résonance de l'onde fondamentale de l'alternateur, soit

$$n_1 = 1.$$

» La série des harmoniques résonnants serait alors

$$1 - 4 - 7,6 - 11 - 15,2 - \dots$$

et avec les variations qui résultent des changements de charge des transformateurs et d'excitation des moteurs, on serait à peu près certain de ne quitter la résonance d'un harmonique que pour tomber dans celle d'un autre.

» Il est intéressant de jeter un coup d'œil sur le cas des longues lignes aériennes, dont le problème se pose de plus en plus.

» Dans les lignes aériennes, on a

$$\sqrt{CL} = \frac{l}{v},$$

v étant la vitesse de la lumière, que nous exprimerons en kilomètres ainsi que l , et nous prendrons une fréquence de 48 périodes par seconde. Dès lors

$$b = \omega\sqrt{CL} = \frac{\omega l}{v} = \frac{l}{1000}.$$

» De sorte que, pour une ligne de 1000 km, on aurait

$$b = 1$$

et tout le cortège d'harmoniques qui en résulte. Il y aura donc lieu d'examiner à fond la question des longues lignes aériennes avant de s'y engager; ce qui ne veut pas dire qu'il ne faut pas en faire, mais simplement qu'il faudra prendre quelques précautions, par exemple supprimer complètement les harmoniques des machines et répartir des déchargeurs intermittents, ou même peut-être continus, le long des lignes.

» Supposons une ligne beaucoup plus courante de 148 km. La self-inductance sera d'environ 0,4 henry et sa réactance de 120 ohms.

» L' sera donc du même ordre que L et b sera égal à $\frac{1}{7}$.

» Si l'on prend

$$L' = L,$$

on aura la série des harmoniques

$$7 - 28 - 53 - \dots$$

» Si l'on prend

$$L' = 5L,$$

on aura la série des harmoniques

$$3,2 - 22 - 44 - \dots$$

» On voit quelle erreur c'est de croire que les réseaux aériens ne donnent pas lieu à résonance, et combien il pourrait devenir dangereux d'augmenter la capacité du réseau sans examiner d'abord exactement quels seraient les résultats de cette augmentation.

» VII. Les conclusions de cette étude, que vous m'excuserez d'avoir faite un peu longue en raison de l'intérêt de tout premier ordre que présentent pour les exploitants de courant alternatif à haute tension les questions soulevées par M. Picou, me paraissent pouvoir être formulées de la manière suivante, à titre provisoire et sous réserve des modifications que pourra amener la suite de la discussion :

» 1° La fermeture d'un interrupteur à haute tension peut se produire à une tension quelconque comprise entre le maximum de la tension et une certaine valeur voisine de la demi-tension.

» 2° Cette fermeture produira toujours une surtension qui s'amortira plus ou moins rapidement, la valeur de cette surtension dépendant d'ailleurs :

» *a.* De la valeur de la tension au moment où s'établit l'arc de fermeture ;

» *b.* De la période d'oscillation propre du réseau ;

» *c.* De l'amortissement de cette oscillation ;

» *d.* De la distance plus ou moins grande qui sépare les périodes des oscillations propres des périodes des oscillations forcées.

» 3° Les périodes d'oscillation propre d'un réseau en charge dépendent, dans une certaine mesure, de la grandeur et de la nature de cette charge.

» 4° Tout ensemble de réseau et de machines comporte une oscillation propre complexe, formée de la superposition d'une infinité d'oscillations propres simples, qui peuvent chacune donner lieu à résonance.

» Il n'est généralement pas admissible de négliger la self-inductance du réseau dans le calcul des résonances. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Brylinski et donne avis qu'il a reçu de M. Potier la Note suivante, relative à la Communication de M. Picou :

« M. POTIER.

I. CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES RÉGIMES ET DES VARIATIONS DE RÉGIME DANS LES RÉSEAUX ALTERNATIFS.

» Les diverses questions traitées par M. Picou peuvent être considérées comme des cas particuliers d'une question générale. Un réseau étant donné, et un régime permanent établi, si l'on vient à modifier brusquement les conditions de fonctionnement, comment se fera le passage entre l'ancien régime et le nouveau régime permanent? La réponse est connue; pendant la période de transition, le régime est le nouveau régime permanent, auquel se superpose un régime libre, c'est-à-dire un régime que le réseau pourrait prendre, s'il était à l'abri de toute force électromotrice extérieure, après avoir été dérangé de son équilibre; ce régime libre est nécessaire-

ment un régime amorti, l'énergie communiquée primitivement au réseau n'étant plus renouvelée par des sources extérieures, tandis qu'elle se transforme en chaleur dans les conducteurs.

» Puisque ces diverses questions sont connexes, on peut trouver singulier que les méthodes employées pour les résoudre soient différentes; que, par exemple, le principe de la conservation de l'énergie suffise et soit seul invoqué pour le cas de la rupture du courant, tandis que la fermeture demande des considérations d'un autre ordre; que rien ne fait prévoir comment on pourrait traiter le cas d'un simple changement : la mise en charge d'un nouvel alternateur, par exemple. En réalité, les principes communs et fondamentaux existent; ce sont les suivants : dans son ensemble, le système comprend des capacités (câbles), des bobines (transformateurs et machines) et des résistances mortes; il faut et il suffit que la différence des potentiels, pour chaque capacité, et que le flux, pour chaque bobine, soient les mêmes, avant et après le changement brusque; en effet, si ces conditions n'étaient pas réalisées, on aurait des courants de charge, ou des forces électromotrices infinies; il suffit de joindre ces conditions, c'est-à-dire les potentiels et flux initiaux aux équations qui régissent les courants du système, c'est-à-dire aux équations de Kirchhoff, pour que le problème soit sinon résolu, au moins mis en équation et ne présente plus que des difficultés d'ordre mathématique. (*Voir NOTE 1.*)

» Mais, en examinant la question de près, on verra que la difficulté est d'écrire les équations de Kirchhoff, et qu'elle vient de la présence du fer; on peut bien négliger les variations de perméabilité du fer, ce qui permet des simplifications considérables, sans qu'on s'éloigne trop de la réalité, mais on pousse ordinairement la simplification jusqu'à négliger l'hystérésis, ce qui est vraiment choquant quand il y a des transformateurs. Enfin, si l'on examine spécialement les méthodes fondées sur le principe de la conservation de l'énergie, et qui, par conséquent, ne fournissent qu'une seule équation, on voit que leur succès apparent tient à ce que l'on supprime les variables gênantes, pour n'en conserver qu'une seule, et souvent sans justification. Prenons, par exemple, le cas de rupture d'un circuit unique qui, après rupture du contact avec l'alternateur, n'est plus constitué que par une capacité, le câble, et le

transformateur sur le secondaire duquel peuvent être branchées des lampes. On se borne à dire, au moment de la rupture, qu'une certaine quantité d'énergie est emmagasinée dans la capacité et dans les bobines; cette quantité, sauf la perte résultant de l'effet Joule, perte qu'on s'abstient de calculer, reste constante; à certaines époques, l'énergie emmagasinée dans la bobine est nulle; toute l'énergie initiale est alors concentrée dans la capacité et, de sa valeur, on déduit la différence de potentiel maximum; or, la quantité d'énergie initiale n'est déterminée que si l'on connaît exactement le régime permanent avant la rupture; de plus, on va voir que la présence des lampes jointes au secondaire modifie le régime libre du système. (Voir NOTE 2.) J'admets, d'ailleurs, la marche proposée par M. Picou, qui consiste à substituer aux lampes une résistance équivalente (produit de leur résistance réelle par le carré du rapport de transformation) faisant débiter au primaire le courant qu'il débite en réalité.

» Ceci posé, on va étudier les régimes libres et forcés, d'abord sans tenir compte de l'hystérésis, puis en en tenant compte.

II. RÉGIME LIBRE, PAS D'HYSTÉRÉSIS.

» L'étude des oscillations libres du réseau semble facile, et, cependant, je ne suis pas sûr d'être d'accord avec nos confrères; si l'on suppose les deux armatures d'un condensateur de capacité C , reliées par des appareils de résistances $R_1, R_2, \dots$, et de self-induction $L_1, L_2, \dots$, on montre dans les Traités que les quantités $-\alpha$ et β correspondant à un régime libre ⁽¹⁾ ne sont autres que les parties réelles (pour $-\alpha$) et les coefficients de $\sqrt{-1}$ (pour β) des racines de l'équation

$$Cx + \frac{1}{R_1 + L_1 x} + \frac{1}{R_2 + L_2 \lambda} + \dots = 0,$$

équation qui, outre le condensateur, renferme autant de termes qu'il y a de types distincts d'appareils, car si plusieurs appareils sont de même type, et admettent le même rapport $\frac{R}{L}$, on peut grouper tous les termes correspondants en un seul de la même forme; s'il y a des résistances mortes, on peut les réunir en un

⁽¹⁾ Tout régime libre est représenté par une formule $He^{-\alpha t} \sin(Bt - \psi)$ où H et ψ sont arbitraires.

seul terme également, et finalement on a une équation de degré $(p + 1)$, si p est le nombre des types d'appareils inductifs. Cette équation a toujours $(p - 1)$ racines réelles, l'une comprise entre $-\frac{R_1}{L_1}$ et $-\frac{R_2}{L_2}$, la seconde entre $-\frac{R_2}{L_2}$ et $-\frac{R_3}{L_3}$, ..., et la $(p - 1)^{\text{ième}}$ entre $-\frac{R_{p-1}}{L_{p-1}}$ et $-\frac{R_p}{L_p}$; les deux dernières racines peuvent être réelles ou imaginaires, mais leurs valeurs sont toujours plus grandes en valeur absolue que les plus grandes des quantités $\frac{R}{L_i}$, si elles sont réelles. Parmi tous les régimes libres, il n'y en a donc qu'un seul oscillatoire et amorti (correspondant à deux racines conjuguées), tous les autres sont purement amortis. Lorsque l'équation ci-dessus renferme un terme correspondant à une résistance morte $\frac{1}{R}$ et que l'on fait varier ce terme (c'est ce qui arrive quand on allume ou éteint des lampes sur un réseau d'éclairage), on peut toujours donner à R une valeur assez faible pour que toutes les racines soient réelles; si pour R infini il y a un régime libre oscillatoire, en faisant diminuer R , la fréquence des oscillations diminuera, arrivera à zéro pour une certaine charge, puis tout régime oscillatoire disparaîtra, en même temps que, des valeurs de x , l'une croîtra sans limite, tandis que les autres se rapprocheront de $\frac{R_1}{L_1}$, $\frac{R_2}{L_2}$, ..., $\frac{R_p}{L_p}$. Ces propriétés sont générales pour tout système assimilable à un condensateur sur lequel sont branchés tous les appareils. Il en résulte que les surtensions du fait de la rupture brusque à l'alternateur sont d'autant moins à craindre que la charge est plus forte.

» La détermination de la fréquence, facile quand il n'y a qu'un type d'appareils branchés, devient donc pénible si le système qu'on étudie comprend deux types, par exemple des alternateurs et des transformateurs. M. Picou, qui a rencontré cette question en étudiant la mise en charge brusque, l'a tranchée en négligeant délibérément le côté transformateur; il y a lieu de craindre que les valeurs de la période des oscillations libres ne soient gravement altérées par cette suppression, et il vaudrait peut-être la peine de refaire les calculs complets, une fois résolue la difficulté relative aux transformateurs.

III. ROLE DES TRANSFORMATEURS.

» Négligeons d'abord la dispersion ; alors, sans être obligé de refaire les calculs relatifs aux transformateurs sans fer, comme le fait M. Brylinski, pour aboutir à la conclusion que $M^2 - LL'$ est négligeable, il est clair que l'état magnétique du transformateur ne dépend que de la différence des ampères-tours primaires et secondaires, ou que le courant primaire est la somme (géométrique) des courants à vide, et d'un courant en phase avec le secondaire, et dont l'intensité est le quotient de celle du secondaire par le rapport de transformation ; il est donc exact d'opérer comme M. Picou et de remplacer les lampes par une résistance morte en dérivation directe sur le primaire, ce qui supprime en même temps la discussion sur la constance de la self-induction, discussion qui ne repose que sur des malentendus et l'abus du mot *self-induction*, dont on a dénaturé le sens primitif. Supposons donc le transformateur à vide. Qu'appellerons-nous sa self, qu'appellerons-nous sa résistance ? Si l'on définit sa self L par la condition que Li soit le flux déterminé par un courant i , on tombe dans l'incohérence, car la force électromotrice induite devait être $-L \frac{di}{dt}$, donc en quadrature avec i , et elle ne l'est pas.

» Pour la résistance, autre anomalie : si l'on appelle R la résistance déduite de l'effet Joule dans le primaire, l'équation $U = Ri + L \frac{di}{dt}$ n'est pas vérifiée ; en effet, si l'on mesure la différence U , l'intensité I à vide et la différence de phase φ , on trouve que, pour satisfaire à cette équation, on devrait donner à R une valeur beaucoup plus grande que la résistance réelle ; par exemple, dans le type cité par M. Picou, ou aurait, pour le transformateur équivalent à tous les transformateurs du réseau, $R = 650$ ohms, et $L = \frac{760}{314} = 2,42$, tandis que la résistance est inférieure à 1 ohm (qui donnerait lieu à une chute de tension de 3 pour 100 pour la résistance primaire seule) ; il ne peut pas être indifférent, surtout au point de vue de l'amortissement, d'employer l'une ou l'autre de ces valeurs. Or, on sait que la puissance $UI \cos \varphi$ se retrouve en chaleur dans le fer, une partie y est dégagée par des courants de Fou-

cault, et la plus grande partie produite par hystérésis; l'hypothèse qui paraît la plus vraisemblable consiste à admettre que sous l'influence du champ magnétique variable les aimants particuliers se déplacent, et que la force vive qui leur serait communiquée aux dépens de $UI \cos \varphi$ est absorbée par des frottements ou une viscosité, comme si chacun d'eux pouvait être assimilé à un petit moteur synchrone ayant à vaincre un couple; ces petits aimants induiraient dans le primaire des forces électromotrices de même période, cela revient à dire que la variation magnétique engendre une force électromotrice qui n'est pas exactement en quadrature avec le courant magnétiseur; la composante wattée demandant une puissance sensiblement proportionnelle à la fréquence du courant, ou à ω et à l'aire du cycle d'hystérésis, ou à la puissance 1,6 de l'induction maximum. Les choses se passent à peu près comme si le flux magnétique *était en retard d'un angle indépendant de la fréquence sur le courant qui le produit*, de sorte que le terme R serait proportionnel à cette fréquence.

» Si l'on introduit directement cette hypothèse dans l'équation qui détermine la période, elle se trouve simplifiée d'une manière inattendue; son degré est réduit au second; étant entendu qu'on néglige la résistance ohmique des circuits inductifs. On arrive aux résultats suivants :

IV. RÉGIMES LIBRES AVEC OU SANS TRANSFORMATEURS.

» 1° Alternateur hors circuit et résistances mortes en dérivation sur le câble, équivalentes à une résistance R_1 ,

$$u = He^{-\frac{t}{CR_1}}, \quad i \text{ (vers le condensateur) } = -\frac{1}{R_1} u = -\frac{1}{R} He^{-\frac{t}{CR_1}}.$$

» 2° Si, outre ces résistances, il y a une résistance inductive, à circuit magnétique non fermé (qui peut être les induits des alternateurs), le régime libre peut être ou périodique amorti,

$$u = He^{-\alpha t} \sin(\beta t - \psi)$$

avec

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(\frac{R_2}{L_2} + \frac{1}{R_1 C} \right), \quad \beta^2 = \frac{1}{CL_2} - \frac{1}{4} \left(\frac{R_2}{L_2} - \frac{1}{R_1 C_1} \right)^2,$$

ou entièrement amorti,

$$u = H_1 e^{+\alpha_1 t} + H_2 e^{+\alpha_2 t},$$

et les α sont les racines de

$$(R_2 + L_2 \alpha) \left(C \alpha + \frac{1}{R_1} \right) = 0.$$

» La résistance critique est donnée par

$$\frac{1}{R_1 C_1} = \frac{R_2}{L_2} + \frac{2}{\sqrt{C L_2}},$$

ou pratiquement comme $\frac{R_2}{L_2}$ est petit à côté de l'autre terme

$$R_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L}{C}};$$

dès que R_1 est *au-dessous* de cette valeur les régimes libres ne sont plus périodiques.

» Installation citée par M. Picou, $C = 2$ microfarads; $L_2 = 0,0828$,

$$\text{résistance critique} = \frac{1}{2} 10^3 \sqrt{0,0414} = 100 \text{ ohms environ.}$$

» 3° Cas général, où sont branchés, sur le réseau, des alternateurs, considérés comme bobines à circuit magnétique ouvert dont on néglige l'hystérésis et la résistance ohmique; des bobines à circuit fermé, dont on néglige la résistance propre, mais non la résistance apparente, d'origine hystérétique ou parasite. Soient Z l'impédance à la fréquence $\frac{\omega}{2\pi}$ d'un de ces derniers appareils, essayé à vide s'il s'agit d'un transformateur; $\cos \varphi'$ le facteur de puissance dans ces conditions. Soit L le coefficient de self-induction d'un des premiers appareils (qui ne sont que des cas particuliers des seconds pour lesquels il est commode de supposer, peut-être à tort, $\cos \varphi = 0$); on posera

$$\Lambda' = \sum \frac{1}{L}, \quad \frac{\cos \varphi_0}{z_0} = \sum \frac{\omega \cos \varphi}{Z}, \quad \frac{\sin \varphi_0}{z_0} = \sum \frac{\omega \sin \varphi}{Z},$$

puis l'on déterminera un angle ε et une constante k par les conditions

$$k \cos 2\varepsilon = \frac{1}{4 R_1^2 C} - \Lambda' - \frac{\sin \varphi_0}{z_0}, \quad k \sin 2\varepsilon = + \frac{\cos \varphi_0}{z_0}.$$

Les valeurs des constantes α et β qui déterminent les régimes

libres $He^{-\alpha t} \sin(\beta t - \varphi)$ d'un élément (flux, potentiels, courants) ont les valeurs

$$\alpha = \frac{1}{2R_1C} + \cos \varepsilon \sqrt{\frac{k}{C}}, \quad \beta = \sin \varepsilon \sqrt{\frac{k}{C}},$$

R_1 étant la résistance morte réduite $\left(\frac{1}{R_1} = \sum \frac{1}{r}\right)$ (voir la NOTE 3).

Application au schéma de M. Picou.

» 1° Les alternateurs non reliés, $Z = 1000$, $\cos \varphi = 0,65$,

$$\frac{\cos \varphi_0}{z_0} = \frac{314 \times 0,65}{1000} = 0,2041, \quad \frac{\sin \varphi_0}{z_0} = 0,2385,$$

à vide

$$\alpha = 215,6, \quad \beta = 371,5;$$

avec

$$R_1 = 500, \quad \alpha = 885,5, \quad \beta = 131,5,$$

$$R_1 = 100, \quad \alpha = 4976, \quad \beta = 20,2,$$

$$R_1 = 30, \quad \alpha = 16662, \quad \beta = 6.$$

» 2° Les alternateurs reliés $\Lambda' = \frac{1}{4} = \frac{314}{26} = 12,08$, à vide

$$\alpha = 20,9, \quad \beta = 2482;$$

avec

$$R_1 = 500, \quad \alpha = 503,4, \quad \beta = 2348,$$

$$R_1 = 100, \quad \alpha = 2518, \quad \beta = 147,8,$$

$$R_1 = 30, \quad \alpha = 16228, \quad \beta = 6,4.$$

» Ce Tableau me semble ne pas avoir besoin de commentaires, et si les valeurs qui y sont portées diffèrent notablement de celles fournies par d'autres méthodes, une étude expérimentale que rend aujourd'hui possible l'existence d'appareils tels que celui de M. Blondel pourrait décider quels sont les chiffres les plus voisins de la vérité.

V. RÉGIME FORCÉ.

» Quant au régime forcé en ωt , on l'obtient ainsi : soit $u = U \sin \omega t$ la différence de potentiel aux bornes du condensateur; le flux dans une bobine est

$$- \frac{U}{\omega} \cos \omega t,$$

et, par suite, le courant $-\frac{U}{\omega z} \sin(\omega t - \varphi)$ en retard de $(\frac{\pi}{2} - \varphi)$ sur le flux, et ωz est l'impédance mesurée à la fréquence ω ; dans les résistances mortes le courant est $\frac{u}{R_1}$ et enfin le courant de charge est $C \frac{du}{dt} = C\omega U \cos \omega t$; on a donc, à chaque instant, le courant total de la machine

$$i = U \left(\frac{\sin \omega t}{R_1} - \frac{\sin(\omega t - \varphi)}{Z} + C\omega \cos \omega t \right);$$

d'autre part, si l'on néglige l'hystérésis dans la machine

$$e = u + Ri + L \frac{di}{dt},$$

d'où

$$e = U \left[\sin \omega t + R \sin \omega t \left(\frac{1}{R_1} - \frac{\cos \varphi}{Z} \right) + R \cos \omega t \left(C\omega + \frac{\sin \varphi}{Z} \right) \right] \\ + L\omega \left[\cos \omega t \left(\frac{1}{R_1} - \frac{\cos \varphi}{Z} \right) - \sin \omega t \left(C\omega + \frac{\sin \varphi}{Z} \right) \right],$$

en mettant la parenthèse, après substitution des valeurs numériques, sous la forme

$$e = U(A \sin \omega t + B \cos \omega t),$$

et posant $A^2 + B^2 = M^2$, on aura inversement le potentiel u lorsque $e = E \sin \omega t$ en écrivant

$$u = \frac{E}{A^2 + B^2} (A \sin \omega t - B \cos \omega t),$$

et l'on en déduira facilement les courants et les flux.

VI. APPLICATION DE LA MÉTHODE.

» Connaissant ainsi deux régimes permanents, si à l'époque θ , u et Φ ont les valeurs u_1 et Φ_1 , tandis que dans le second les valeurs seraient u_2 et Φ_2 à la même époque, on écrira $u_2 = u_1 + u_0$, $\Phi_2 = \Phi_1 + \Phi_0$, et u_0 et Φ_0 seront les valeurs instantanées à l'époque θ du régime libre qui se superposera au régime permanent. Le paragraphe précédent fait connaître les valeurs de α et β correspondantes; on posera donc

$$u = H e^{\alpha(\theta-t)} \sin(\beta t - \psi)$$

et

$$\Phi = - H e^{\alpha(\theta-t)} \frac{\alpha \sin(\beta t - \psi) + \beta \cos(\beta t - \psi)}{\alpha^2 + \beta^2}$$

et l'on déterminera H et ψ par les équations

$$u_2 - u_1 = H \sin(\beta \theta - \psi),$$

$$\Phi_2 - \Phi_1 = \frac{-H}{\alpha^2 + \beta^2} [+ \alpha \sin(\beta \theta - \psi) + \beta \cos(\beta t - \psi)],$$

qui donnent

$$H^2 = (u_2 - u_1)^2 + [(\Phi_2 - \Phi_1)(\alpha^2 + \beta^2) + \alpha(u_2 - u_1)]^2 \frac{1}{\beta^2}$$

et

$$\text{tang}(\beta \theta - \psi) = \frac{(u_2 - u_1)\beta}{(\Phi_2 - \Phi_1)(\alpha^2 + \beta^2) + \alpha(u_2 - u_1)}.$$

» On a tous les éléments nécessaires pour discuter les amplitudes des oscillations dont les maxima ont lieu pour $\text{tang}(\beta t - \varphi) = \frac{\beta}{\alpha}$; je remettrai à une autre occasion l'application de ces formules aux cas traités par M. Picou.

VII. LIMITES DE LA MÉTHODE.

» Cette méthode ne saurait évidemment être considérée comme absolument rigoureuse; elle néglige la déformation que les transformateurs font subir à la courbe du courant; de plus, à moins de considérer z comme fonction de l'intensité, elle ne reproduit pas pour l'hystérésis la loi de Steinmetz; je la crois néanmoins beaucoup plus rapprochée de la vérité que les modes de calcul généralement employés et qui conduisent à des résultats tout à fait inexacts quand on étudie les augmentations de tension (ou d'intensité) produits par l'association d'une bobine et d'un condensateur (en série ou en dérivation).

» On a considéré comme négligeable la dispersion des transformateurs, on pourra en tenir compte en supposant que les résistances mortes ont un léger coefficient de self-induction; on peut également tenir compte des résistances ohmiques des bobines, et l'on doit même le faire quand ces résistances cessent d'être une petite fraction de la résistance morte R_1 . Si l'on veut en tenir compte, il faut alors reprendre l'équation générale (1), et écrire au dénominateur un

terme r égal à la résistance ohmique, et, à la place de L , une expression imaginaire

$$\frac{Z(\sin \varphi + \cos \varphi \sqrt{-1})}{\omega},$$

mais alors on retombe sur des complications de calcul très grandes et des équations de degré supérieur, à moins d'avoir affaire à un circuit très simple (*voir* NOTE 4), et cette complication n'est nullement justifiée quand la résistance ohmique n'est qu'une petite fraction de l'impédance.

» Quelque méthode que l'on emploie, un résultat s'impose, c'est que l'existence d'une résistance assez modérée non inductive, reliant les deux armatures du condensateur, produit un amortissement considérable et une augmentation très notable de la durée de la période des régimes libres; les calculs ci-dessus montrent comment on peut réduire β bien au-dessous de la valeur de ω , et éviter ainsi toute surélévation dangereuse. Il ne peut être question de laisser en service cette résistance, mais elle pourrait se trouver mise automatiquement en service, lorsqu'une manœuvre que l'on a des raisons de supposer dangereuse est néanmoins commandée par les nécessités de l'exploitation : les résistances que l'on introduit aujourd'hui dans les parafoudres à intervalle d'air jouent en partie ce rôle.

» La question des accidents sur réseaux alternatifs, même limitée, comme elle l'a été aujourd'hui, aux réseaux d'éclairage, est loin d'être épuisée. M. Picou a parlé des interrupteurs à huile sur lesquels les Américains fondent de si grandes espérances, et a rappelé l'opinion qui attribue à ces appareils la faculté de choisir le moment le plus favorable pour produire la rupture; une telle théorie ne semble pas nécessaire; je serais plutôt porté à penser que dans l'air l'arc se rallume à une bien plus grande distance que dans l'huile, et que le régime pseudo-périodique de l'arc dans l'air exagère et prolonge les perturbations observées. Le mode de rupture peut encore avoir une autre influence : on a supposé que les deux fils du câble avaient à chaque instant le même potentiel dans toute leur longueur; il n'en est pas ainsi; mais, à moins de réseaux d'une longueur extraordinaire, ce fait ne joue aucun rôle appréciable ni dans le régime permanent, ni dans les régimes libres; il n'en est pas moins vrai que la perturbation naît brusquement en un point déterminé du câble, puis se

propage comme une onde en gardant un front plus au moins raide, et dont l'amplitude va plutôt en diminuant tant que le câble reste uniforme; mais, si les conditions électriques changent, si un appareil est branché sur le câble ou si celui-ci est enroulé en spirale, il y a, à l'entrée des bobines inductives, des points où pendant un temps très court des tensions dangereuses peuvent se produire; l'étude de ces phénomènes échappe à l'analyse ci-dessus; elle est cependant indispensable pour comprendre la localisation (en dehors des défauts de construction) en certains points fixes d'un réseau. »

NOTE 1.

Pour illustrer cette méthode, je prendrai un exemple extrême, qui est la plus grande épreuve à laquelle un réseau puisse être soumis; je suppose tous les appareils (les primaires des transformateurs) débranchés, le réseau isolé et la machine reliés; la machine est mise en court-circuit, puis ce court-circuit rompu; après la rupture, le régime est la superposition d'un régime permanent (toutes résistances négligées)

$$i_1 = \frac{-E \cos \omega t}{\left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)}, \quad u_1 = \frac{-E \sin \omega t}{(CL\omega^2 - 1)}$$

et d'un régime libre ($\beta^2 CL = 1$)

$$i_2 = C\beta H \cos(\beta t - \varphi), \quad u_2 = H \sin(\beta t - \psi).$$

A l'époque θ de la rupture, le courant total $i_1 + i_2$ doit être le courant de court-circuit dans la machine et le potentiel nul au condensateur, d'où deux équations

$$C\beta H \cos(\beta\theta - \psi) = \frac{E \cos \omega\theta}{(CL\omega^2 - 1)L\omega}, \quad H \sin(\beta\theta - \psi) = \frac{E \sin \omega\theta}{CL\omega^2 - 1}$$

qui déterminent H et ψ , c'est-à-dire le régime libre quand on connaît l'instant de la rupture; on en déduit

$$\frac{H^2}{E^2} = \frac{1}{(CL\omega^2 - 1)^2} \left(\frac{\cos^2 \omega\theta}{C^2 L^2 \omega^2 \beta^2} + \sin^2 \omega\theta \right) = \frac{\beta^4}{(\omega^2 - \beta^2)^2} \left(\frac{\beta^2}{\omega^2} \cos^2 \omega\theta + \sin^2 \omega\theta \right).$$

La valeur de $\frac{H}{E}$ dépend donc du moment choisi pour la rupture; si $\omega > \beta$, sa plus grande valeur est $\frac{\beta^2}{\omega^2 - \beta^2}$ et correspond à la rupture sur le courant maximum. Si c'est β qui est le plus grand, la plus grande valeur $\frac{\beta^2}{\omega(\beta^2 - \omega^2)}$ correspond à la rupture au

moment où le courant est nul. La valeur la plus dangereuse de la capacité est naturellement celle qui correspond à la résonance où $\omega = \beta$.

Dans l'installation à laquelle M. Picou fait allusion, cette condition est loin d'être réalisée, car

$$CL\omega^2 = \left(\frac{\omega}{\beta}\right)^2 = 0,016.$$

NOTE 2.

L'énergie emmagasinée dans le condensateur est $\frac{1}{2}C\omega^2$; dans le transformateur $\frac{1}{2}Li^2$, u est une fonction $U \sin \omega t$ du temps et i une fonction sinusoïdale en retard sur u du décalage φ ; l'énergie totale

$$\frac{1}{2}CU^2 \sin^2 \omega t + \frac{1}{2}LI^2 \sin^2(\omega t - \varphi)$$

est donc variable avec le temps, si on l'écrit

$$\frac{1}{2} \left[\sin^2 \omega t (CU^2 + LI^2 \cos^2 \varphi) - \frac{LI^2}{2} \sin 2\omega t \sin 2\varphi + LI^2 \cos^2 \omega t \sin^2 \varphi \right]$$

ou

$$\frac{1}{2} \left[\frac{(CU^2 + LI^2)}{2} - \frac{(LI^2 \cos 2\varphi + CU^2)}{2} \cos 2\omega t - \frac{LI^2}{2} \sin 2\varphi \sin 2\omega t \right]$$

et oscille entre

$$\frac{1}{4} (CU^2 + LI^2 \pm \sqrt{C^2 U^2 + L^2 I^4 + 2LCU^2 I^2 \cos 2\varphi})$$

suivant le moment considéré, c'est-à-dire dans l'exemple de M. Picou, entre

$$\frac{1}{2} (2 \cdot 10^{-6} \cdot 3000^2 + 2,42 \cdot 9 \pm \sqrt{324 + 565,5 + 235}) = \frac{1}{2} (39,8 \pm 33,5) \text{ joules.}$$

Le maximum est donc 36,6 joules qui, répartis sur le condensateur seul, donneraient

$$\sqrt{\frac{2 \times 36,6 \times 10^6}{2}} = 6050 \text{ volts.}$$

Mais il faudrait tenir compte : 1° de ce que les transformateurs absorbent 50 joules au moins par cycle (ce serait une perte de moins de 1 pour 100 de la puissance totale) et que, si le réseau était en charge au moment de la rupture, les résistances mortes absorbent aussi une quantité notable d'énergie. En tout cas, la rupture brusque, les transformateurs étant reliés, ne peut causer une tension dangereuse; les choses sont toutes différentes quand on rompt un court-circuit, parce que l'énergie emmagasinée dans l'alternateur peut atteindre une valeur bien plus considérable (dans l'exemple de

M. Picou, $L = 0,083$ h., $I_{eff} = 115$ A, $LI^2 = 1100$ joules) que celle du câble et des transformateurs, et enfin qu'il y a encore une source d'énergie mécanique disponible : c'est la présence de cette réserve dans l'alternateur qui rend la rupture dangereuse.

NOTE 3.

Soit $\Phi = He^{-\alpha t} \sin \beta t$ le flux qui a nécessairement la même valeur dans toutes les bobines, le potentiel du condensateur est $\frac{d\Phi}{dt}$ ou $He^{-\alpha t}(-\alpha \sin \beta t + \beta \cos \beta t)$ et le courant dans les résistances mortes $\frac{1}{R_1} \frac{d\Phi}{dt}$, tandis que le courant total de *décharge* est

$$-C \frac{dU}{dt} = CH e^{-\alpha t} [(\alpha^2 - \beta^2) \sin \beta t - 2\alpha\beta \cos \beta t].$$

Le courant dans les bobines d'alternateurs est le flux divisé par le coefficient de self-induction, soit $\frac{\Phi}{L}$, mais, dans les primaires de transformateurs, il est en avance d'un angle $\frac{\pi}{2} - \varphi$ sur ce flux, soit

$$\frac{\Phi}{z} e^{-\alpha t} \sin\left(\beta t + \frac{\pi}{2} - \varphi\right) = \frac{\Phi}{z} e^{-\alpha t} (\sin \beta t \sin \varphi + \cos \beta t \cos \varphi)$$

(l'angle φ ainsi choisi détermine par son cosinus le facteur de puissance); le courant de décharge étant à chaque instant la somme de tous les autres, on doit avoir

$$C(\alpha^2 - \beta^2) - \frac{\alpha}{R_1} + \frac{1}{L} + \frac{\sin \varphi}{z} = 0, \quad -2\alpha\beta C + \frac{\beta}{R_1} + \frac{\cos \varphi}{z} = 0;$$

or, si l'on remplace dans ces équations α et β par leurs valeurs, il vient pour la première

$$C\left(\frac{1}{LR_1^2 C^2} + \cos \varepsilon \sqrt{\frac{K}{C}} \frac{1}{R_1 C} + \frac{K}{C} \cos 2\varepsilon\right) - \left(\frac{1}{2R_1^2 C} + \frac{1}{R_1} \sqrt{\frac{K}{C}} \cos \varepsilon\right) + \frac{1}{L} + \frac{\sin \varphi}{z} = 0,$$

ce qui est une identité à cause de $K \cos 2\varepsilon = \frac{1}{LR_1^2 C} - \frac{1}{L} + \frac{\sin \varphi}{z}$
et, pour la seconde,

$$-\left(\frac{1}{R_1} + 2 \cos \varepsilon \frac{C}{K} \sqrt{\frac{K}{C}}\right) \sin \varepsilon \sqrt{\frac{K}{C}} + \frac{1}{R_1} \sqrt{\frac{K}{C}} \sin \varepsilon + \frac{\cos \varphi}{z} = 0,$$

qui est encore une identité à cause de $K \sin 2\varepsilon = + \frac{\cos \varphi}{z}$.

On se rappelle que z est $\frac{Z}{\omega}$, si Z est l'impédance, à vide, à la fréquence $\frac{\omega}{2\pi}$.

NOTE 4.

Le circuit contient simplement un condensateur de capacité C , un transformateur dont l'impédance est Z à la fréquence $\frac{\omega}{2\pi}$ et une résistance r en série (y compris la résistance ohmique du primaire); le condensateur est shunté par une résistance morte R_1 en dérivation sur ses armatures; $\cos \varphi$ représente le facteur de puissance à vide du transformateur; z désigne le quotient $\frac{Z}{\omega}$.

Soit $i_t = H e^{-\alpha t} \sin \beta t$ le courant du transformateur; $u - r i_t$, la force contre-électromotrice du primaire, est en avance de l'angle φ sur le courant i_t ; cette force serait $z \frac{di_t}{dt}$ si le flux était en phase avec le courant, c'est-à-dire

$$z H e^{-\alpha t} (-\alpha \sin \beta t + \beta \cos \beta t),$$

tandis que ce flux est en retard de $\frac{\pi}{2} - \varphi$ sur le courant, de sorte que sa dérivée est

$$z H e^{-\alpha t} [\alpha \cos(\beta t + \varphi) + \beta \sin(\beta t + \varphi)].$$

Il en résulte

$$u = H e^{-\alpha t} [r \sin \beta t + z \alpha \cos(\beta t + \varphi) + z \beta \sin(\beta t + \varphi)].$$

En écrivant que le courant de décharge du condensateur est la somme des courants à travers la résistance et le courant i_t , il vient, pour le régime des oscillations libres,

$$C \frac{du}{dt} + u + i_t = 0;$$

on remplacera u et i_t par leurs valeurs et l'on aura une équation qui doit être satisfaite quel que soit t ; or, pour $\beta t + \varphi = 0$, on a

$$i_t = -H e^{-\alpha t} \sin \varphi, \quad u = H e^{-\alpha t} (-r \sin \varphi + z \alpha),$$

$$\frac{du}{dt} = H e^{-\alpha t} [\alpha r \sin \varphi + \beta r \cos \varphi + (\beta^2 - \alpha^2) z]$$

et, pour $\beta t + \varphi = \frac{\pi}{2}$,

$$i_t = H e^{-\alpha t} \cos \varphi, \quad u = H e^{-\alpha t} (r \cos \varphi + z \beta),$$

$$\frac{du}{dt} = H e^{-\alpha t} (-\alpha r \cos \varphi + \beta r \sin \varphi - 2\alpha \beta z)$$

et, par suite,

$$C [\alpha r \sin \varphi + \beta r \cos \varphi + z(\beta^2 - \alpha^2)] + \frac{1}{R_1} (\alpha z - r \sin \varphi) - \sin \varphi = 0,$$

$$C (-\alpha r \cos \varphi + \beta r \sin \varphi - 2\alpha \beta z) + \frac{1}{R_1} (\beta z + r \cos \varphi) + \cos \varphi = 0.$$

En résolvant ces deux équations par rapport à α et β , on est amené à introduire

deux quantités auxiliaires, ε et K_1 , cette dernière essentiellement positive, définies par

$$K_1 \cos 2\varepsilon = \frac{1}{R_1^2 C^2} - \frac{r^2}{z^2} \cos 2\varphi - \left(\frac{2r}{R_1 C z} + \frac{4}{C z} \right) \sin \varphi,$$

$$K_1 \sin 2\varepsilon = -\frac{r^2}{z^2} \sin 2\varphi + \left(\frac{2r}{R_1 C z} + \frac{4}{C z} \right) \cos \varphi.$$

Les valeurs de α et β sont alors

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_1 C} - \frac{r}{z} \sin \varphi + \cos \varepsilon \sqrt{K_1} \right), \quad \beta = \frac{1}{2} \left(\frac{r}{z} \cos \varphi + \sin \varepsilon \sqrt{K_1} \right).$$

La valeur de $\sqrt{K_1}$ sera toujours positive, et, entre les valeurs égales et de signe contraire de $\cos \varepsilon$ et $\sin \varepsilon$, il faut choisir celle que donne α positif; celui-ci tend vers $\frac{1}{R_1 C}$ à mesure que R_1 diminue. Si l'on veut faire une application numérique à l'exemple cité par M. Picou, on prendra

$$C = 2 \cdot 10^{-6}, \quad r = 1, \quad z = \frac{1000}{314} \quad \text{ou} \quad \frac{r}{z} = 0.314, \quad \cos \varphi = 0.65, \quad \sin \varphi = 0.76$$

et l'on verra que le changement subi par les valeurs de α et β en posant $r = 0$ au lieu de 1 est insignifiant; il n'en serait peut-être pas de même si l'induit de l'alternateur était relié au condensateur; les éléments manquent pour faire ce calcul, car si M. Picou fait connaître Z pour l'alternateur, d'où l'on déduit

$$\frac{r}{z} = \frac{314 \times 2}{26} = 12,08,$$

il n'indique pas la valeur du $\cos \varphi$ qui n'a probablement pas été mesuré.

L'idée de majorer la résistance ohmique d'un alternateur n'est pas nouvelle; tout le monde sait que cette majoration est indispensable lorsque l'on veut tracer *a priori* la courbe de réaction d'induit, mais on se borne fort arbitrairement à doubler cette résistance, tandis qu'on trouve dans l'hystérésis et les courants de Foucault les éléments d'une évaluation rationnelle.

Toutefois, l'introduction de ce nouvel élément dans la recherche des régimes libres apporterait dans les calculs une complication énorme; si l'on se reporte à ce qui a été dit au sujet des circuits sans hystérésis, on comprendra que l'introduction d'un appareil, pour lequel le rapport $\frac{r}{z}$ est différent des autres, élève le degré de l'équation à résoudre; que, si un appareil comprend avec un condensateur deux bobines de types différents, ce n'est plus un, mais deux régimes libres qui seront possibles, de sorte que le régime réel pourra être la superposition de deux régimes et fort différents, l'un très amorti, par exemple, tandis que l'autre le sera à peine. La superposition de ces courbes donnerait une courbe à forme exponentielle, en gros, avec des dentelures, dont le tracé serait fort différent de celui de la courbe dite *théorique*. Or, ce cas se présente lorsque, pour étudier les régimes libres d'une bobine d'induction reliée à un condensateur par exemple, on trouble ce régime par l'adjonction des appareils de mesure.

M. BOUCHEROT. — « Je demande la permission d'insister sur deux points.

» En premier lieu, je voudrais profiter de l'occasion, puisqu'il est beaucoup question de résonance ce soir, pour vous parler de l'état variable, plus simplement de l'établissement du régime dans les circuits résonnants. Cette question est certainement connue de quelques physiciens éminents, mais je crois que, par la généralité, elle est ignorée et elle mérite qu'on s'y arrête un peu. Les résultats sont, en effet, assez curieux.

» J'ai en vue les circuits dans lesquels la résonance est presque réalisée et la résistance faible. Considérons plus particulièrement la tension aux bornes de la capacité. Lorsque la résonance est *parfaite*, l'amplitude de cette tension augmente progressivement depuis zéro jusqu'à sa valeur de régime qui, ainsi que vous savez, peut être beaucoup plus grande que celle de l'amplitude de la force électromotrice agissant dans le circuit. Mais si la résonance n'est pas parfaite, l'établissement du régime prend une forme plus singulière : l'amplitude de régime est sensiblement plus petite que dans le cas précédent, mais, pendant l'état variable, l'amplitude de la tension dépasse plusieurs fois la valeur de régime; l'amplitude de régime s'établit après une série de pulsations pendant lesquelles la tension peut monter au double, par exemple, de ce qu'elle est en régime.

» Voici ce qui se passe (*fig. 1*) dans un circuit ayant 1 ohm de résistance, 0,083 henry de self-induction, siège d'une force électromotrice de fréquence 550 (harmonique onzième d'une force électromotrice fondamentale de fréquence 50). Si la capacité est exactement de 1,015 microfarad, la résonance est parfaite : l'amplitude de régime de la tension du diélectrique est 286 fois l'amplitude de la force électromotrice appliquée. La courbe double I est la limite des amplitudes en fonction du temps, l'enveloppe en quelque sorte de la courbe de la tension du diélectrique.

» Si la capacité diffère seulement de 1,5 pour 100 de la précédente, en plus ou en moins, l'amplitude de régime n'est plus que 54 fois l'amplitude de la force électromotrice appliquée; mais, comme l'on voit par la courbe II qui est encore l'enveloppe de la courbe de tension du diélectrique, pendant l'établissement du régime, la tension monte à 87 fois celle de la force électromotrice appliquée. Je

n'ai pas représenté la courbe de la tension elle-même, parce que les traits auraient été trop serrés; la figure montre, en effet, ce qui se passe pendant une seconde environ, c'est-à-dire pendant 550 pé-

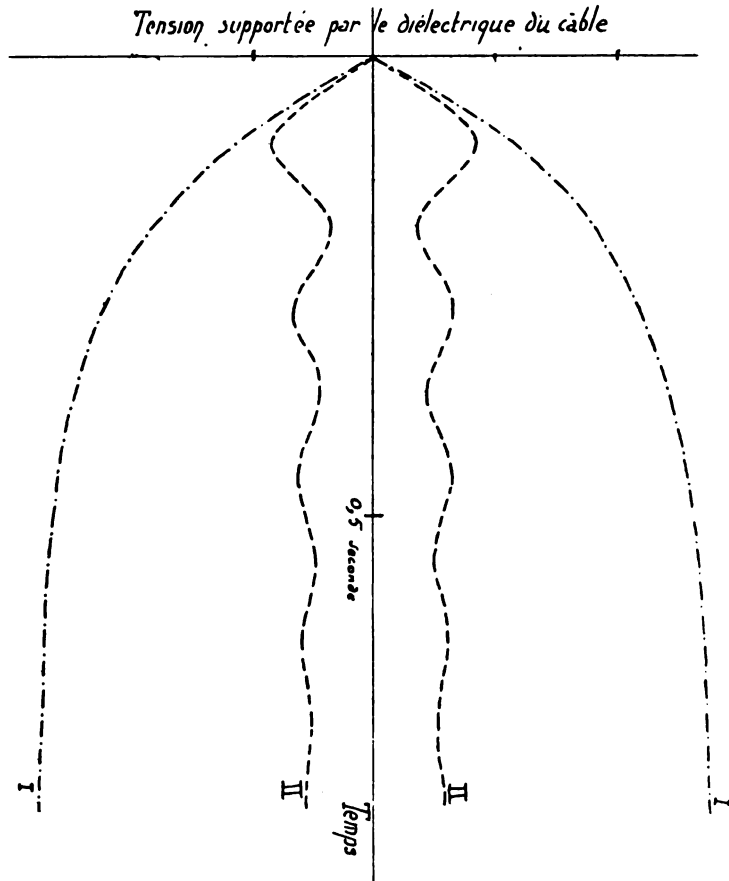


Fig. 1.

riodes. Les pulsations proviennent évidemment de l'interférence entre les oscillations imposées et les oscillations propres.

» Ceux qui ont suivi avec attention la belle Communication que M. Cornu nous fit en 1894 sur la synchronisation électromagnétique se rappelleront qu'il relevait expérimentalement une courbe qu'il appelait *indicatrice de synchronisation* au moyen de laquelle il mettait ces pulsations en évidence (ainsi que la phase des oscillations) pour un pendule battant la seconde. J'aurai le plaisir dans quelques

mois de vous présenter un appareil, réalisé actuellement, ayant un tout autre objet, mais au moyen duquel je pourrai vous montrer les pulsations pour des mouvements beaucoup plus rapides.

» Revenant à la question, il résulte de ceci que, lorsque la résonance n'est pas parfaite, la tension atteinte pendant l'établissement du régime est plus dangereuse que celle résultant de la formule de régime.

» Le deuxième point que je voudrais développer est plus important en ce qui concerne la discussion actuelle.

» Les résultats des différentes études qui ont été publiées sur ce sujet, et plus particulièrement de celles qui viennent de nous être si brillamment exposées, sont des plus inquiétants. S'il fallait en croire les formules, il n'y aurait pas d'installation possible. Tous les alternateurs existants, ou à peu près, ayant un ou plusieurs harmoniques dont l'amplitude est de 0,05 à 0,1 de celle du terme fondamental et les coefficients d'amplification étant d'au moins 100, quelquefois 200, 300 ou 400, il en résulterait que la tension atteindrait toujours, en cas de résonance, au moins 4 à 5 fois la tension normale, quelquefois 20 à 30 fois cette tension. Fort heureusement, la réalité est beaucoup moins terrible, et nombre d'installations fonctionnent qui ont des effets de résonance et dans lesquelles cependant les canalisations ne seraient pas capables de résister au double de la tension normale.

» D'où vient ce désaccord entre les théories et les faits?

» Il vient, ainsi que j'ai eu l'honneur de le dire à la quatrième Commission qui a bien voulu m'inviter à sa dernière réunion, tout simplement de ce que l'amortissement augmente très rapidement avec la fréquence, ce dont ces théories ne tiennent pas compte.

» Ce qu'il convient, en effet, d'introduire dans les formules de résonance, ce n'est pas seulement la résistance ohmique, c'est tout ce qui joue le même rôle, tout ce qui contribue à dégrader l'énergie potentielle et, en particulier, certaines pertes par hystérésis et par courants de Foucault.

» Je vais tâcher de vous faire saisir l'importance de ces effets par un exemple que je prendrai volontairement très simple.

» Constituons un circuit *résonant* par une bobine de self-induction et un condensateur. Supposons la bobine réalisée au moyen

d'un noyau de tôles droit de 1 dmq de section et de 50 cm de longueur, recouvert de 240 spires de fil de 5 mm de diamètre.

» La résistance ohmique de cette bobine est de 0,13 ω .

» Au moyen d'une force électromotrice convenable dans le circuit faisons passer dans cette bobine un courant de 25 ampères et 50 périodes.

La force électromotrice de self-induction est d'environ.	500 volts	
La perte par hystérésis dans le fer est d'environ.....	185	watts
Celle par courants de Foucault.....	37,5	—
Total.....	222,5	—

» Or, ces pertes ne peuvent pas être fournies par autre chose que le courant, il faut donc majorer la résistance ohmique d'une résistance fictive ρ telle que $\rho \cdot 25^2 = 222$, c'est-à-dire d'une résistance de 0,35 ω , et ce qu'il faut introduire dans les formules ce n'est pas 0,13 ω , mais 0,48 ω .

» Au lieu de ce courant à 50 périodes, faisons passer dans la même bobine un même courant de 25 ampères, mais de 500 périodes par seconde.

» La résistance ohmique augmente un peu par l'effet Thomson, mais très peu dans le cas présent; il pourrait en être autrement dans un autre cas; elle devient ici 0,133 ω .

La force électromotrice de self-induction devient environ.	5000 volts.	
La perte par hystérésis dans le fer devient.....	1850	watts
Celle par courants de Foucault.....	3750	—
Total.....	5600	—

et la résistance doit être majorée dans ce cas de $\frac{5600}{25^2} = 9$ ohms; elle devient 3,1 ω , et est par conséquent 19 fois plus grande que dans le cas précédent et 70 fois plus grande que la résistance ohmique proprement dite.

» Donc dans ce cas, pour la fréquence 500, la tension aux bornes du condensateur, et de la bobine, pour une tension quelconque appliquée dans le circuit, est 70 fois moins grande que celle qu'indiquait le calcul en n'y introduisant que la résistance ohmique.

» J'ai évidemment exagéré les conditions dans un sens favorable

à ma définition : la résistance ohmique proprement dite de la bobine pourrait être facilement 2 fois plus grande, en thèse générale il y aurait une ligne à résistance presque constante en série avec une bobine, de sorte que le rapport 70 pourrait descendre à 10, 20 ou 30. Je sais fort bien aussi que d'autre part les pertes dans le fer ne seraient pas les mêmes pour le courant à 500 périodes, si un courant à 50 périodes passait en même temps dans la bobine ; mais je n'ai pas l'intention de faire le calcul exact de la résistance fictive à ajouter pour tenir compte de ces faits. Cette résistance dépend non seulement de la fréquence mais aussi de l'intensité du courant ; par exemple le rapport 19 trouvé plus haut descendrait à 15 pour des courants 10 fois plus faibles ; elle serait plus difficile à calculer pour l'induit d'un alternateur, car il devient alors pénible de déterminer les pertes occasionnées dans le fer de l'induit et de l'inducteur par des courants harmoniques passant dans l'induit et se surperposant au courant principal. Je n'ai pas la prétention, je le répète, d'apporter une méthode exacte de calcul de cette résistance fictive C ; j'ai voulu simplement vous montrer que les calculs dans lesquels on suppose l'amortissement indépendant de la fréquence sont complètement faussés de ce fait et que les facteurs de surtension sont en réalité beaucoup moindres que ceux trouvés dans ces conditions.

» Cette influence bienfaisante des pertes dans le fer, et plus particulièrement des courants de Foucault, se fait naturellement sentir chaque fois que l'on a des oscillations, qu'il s'agisse de résonance des harmoniques, d'ouverture ou de fermeture du circuit.

» En ce qui concerne la résonance des harmoniques, quelques conclusions intéressantes peuvent se dégager de l'examen de cette influence.

» Si elle n'existait pas, c'est-à-dire s'il n'y avait que la résistance ohmique proprement dite r , le facteur de surtension pour la résonance *parfaite* serait proportionnel à la fréquence, puisque c'est alors le quotient de la réactance $n\omega L$ par r . Comme il y a toujours de la capacité, si faible soit-elle, il y aurait toujours un harmonique en résonance avec facteur de surtension *considérable*, d'autant plus grand que le rang de l'harmonique serait plus élevé.

» Mais, en réalité, la résistance à envisager est $r + an\omega + bn^2\omega^2$, $an\omega$ étant représentatif de l'hystérésis et $bn^2\omega^2$ des courants de

Foucault (1). Il y a alors un harmonique, celui de rang

$$n = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{r}{6}}$$

pour lequel le facteur de surtension en résonance parfaite

$$\alpha = \frac{Ln\omega}{r + an\omega + bn^2\omega^2}$$

est maximum et égal à

$$\frac{L}{a + 2\sqrt{rb}}.$$

» S'il n'y avait que l'hystérésis ($b = 0$), le facteur de surtension en résonance parfaite serait encore maximum pour $n = \infty$; mais, au lieu d'être infini lui-même, il serait limité à $\alpha_{\max} = \frac{L}{a}$. Dans le cas de notre bobine établie plus haut il varierait depuis 49 pour le terme fondamental jusqu'à 70 pour $n = \infty$.

» Avec les courants de Foucault, les choses sont plus modifiées :

» C'est le terme de rang 1,46 qui donne le plus grand facteur de surtension en résonance parfaite : $\alpha_{\max} = 45$. Pour l'harmonique 10^e, il devient 23; et pour le 100^e, il devient 3.

» En ajoutant 0,39 ω en circuit (pour tenir compte d'une ligne par exemple) le facteur de surtension maximum en résonance parfaite tombe à 32 et correspond au 3^e harmonique.

« Avec 3,25 ω en circuit, il tombe en 18 et correspond au 7^e harmonique.

« Je tiens alors à rappeler que j'ai émis, en 1900 (2), cette opinion qu'il doit y avoir pour chaque installation une capacité pour laquelle les effets nuisibles passent par un maximum. Correctement il faut ajouter : à égalité d'amplitude des harmoniques de la force électromotrice.

» Je pense, Messieurs, vous avoir rassuré un peu, et je résumerai ce que j'ai dit par une parole de reconnaissance : nous avons tous maudit, plus ou moins, les courants de Foucault; pour une fois,

(1) Comme il s'agit de toutes fréquences, cette formule n'est peut-être pas très rigoureuse, mais nous nous en contenterons; le terme représentatif de l'hystérésis n'est pas non plus très exact.

(2) *Rapports et Procès-verbaux du Congrès international de 1900*, p. 200 et 413.

rendons-leur justice : ce sont eux qui sauvent les câbles et les machines. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Boucherot.

NOTE SUR LES HARMONIQUES DE LA DENTURE DES ALTERNATEURS;

PAR M. BLONDEL.

« Dans sa belle Communication, M. Picou admet comme la plupart des auteurs que les alternateurs ne donnent que des harmoniques impairs et qu'une denture paire, par exemple 12 dents par champ, donne lieu à deux harmoniques d'ordre voisin, ici l'harmonique 11 et l'harmonique 13.

» C'est bien ainsi que le phénomène peut en effet se traduire algébriquement quand on détermine les coefficients de la série de Fourier. Mais au point de vue physique, cette complication est inutile et il est beaucoup plus exact, pour l'étude des phénomènes de résonance, de considérer l'harmonique 12 (*fig 1*). En effet l'*oscil-*



Fig. 1.

lographie par résonance (méthode de M. Armagnat) montre dans ce cas des courbes de résonance harmonique fréquence 12, du genre de celle ci-contre, et qu'on attribue à une interférence des harmoniques 11 et 13. Il est bien plus simple de considérer cette courbe comme montrant l'harmonique 12 alternativement affaibli et renforcé par le passage successif des dents, dont l'effet renforçateur *change de signe*, à chaque changement de pôle de l'alternateur, comme on le voit aux points A, B, C.

» La courbe figure 2 indique schématiquement l'effet perturbateur de la denture d'un alternateur à 12 dents par champ, 6 par

pôle. De A en B par exemple la denture tend à produire un renforcement de l'harmonique 12, mais à partir de B l'effet de la denture est toujours une même fréquence, mais de signe opposé, donc affaiblissant. On conçoit donc que l'harmonique 12 soit alternativement

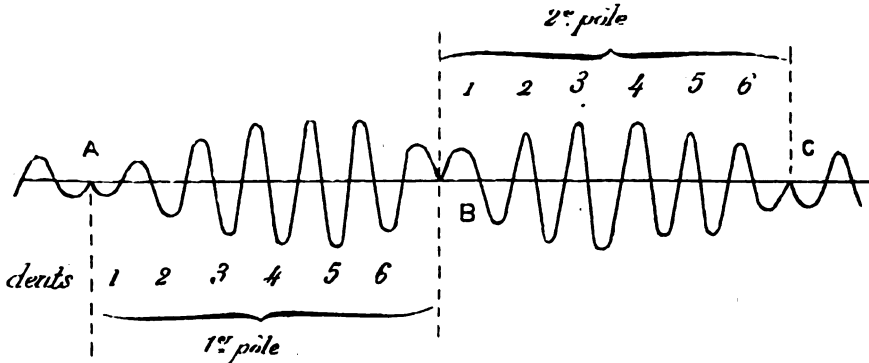


Fig. 2.

renforcé puis affaibli. Et au point de vue de la résonance de la canalisation, c'est l'harmonique 12 qu'il suffit de considérer et non les harmoniques 11 et 13 qui complique inutilement la question. D'où cette règle très simple d'étudier la résonance du réseau par l'harmonique pair ou impair correspondant au nombre de dents de l'alternateur. »

M. le PRÉSIDENT, vu l'heure avancée, propose de remettre à la prochaine séance la suite de la discussion.

Il en est ainsi ordonné.

La séance est levée à 10^h 50^m du soir.

DISCUSSION SUR LA NOMENCLATURE ÉLECTRIQUE (suite).

M. A. BLONDEL. — L'exposé très intéressant qu'a fait M. Hospitalier dans la séance du 2 mars dernier a résumé très clairement l'état de la question et ne laisse pas grand'chose à ajouter dans la discussion, surtout après les remarques très judicieuses que cet exposé a soulevées de la part de quelques-uns de nos Collègues dans la dernière séance et de M. Juppont dans *l'Industrie électrique* du 10 avril. Les propositions de M. Hospitalier paraissent d'ailleurs parfaitement justifiées et ne soulèvent que quelques critiques de détail. Je me permets dans ce qui suit d'en indiquer quelques-unes et de faire moi-même quelques propositions complémentaires.

Une des questions qui a été le plus discutée est celle de la nomenclature pour les courants alternatifs. On a beaucoup critiqué à ce propos les termes *watté* et *déwatté* appliqués aux composantes du courant dont l'une fournit l'énergie et dont l'autre n'en fournit pas. Mais la preuve que ces termes n'étaient pas si mal choisis c'est que, jusqu'ici, on n'a pas pu en faire prévaloir d'autres et que ceux mêmes que proposent nos Collègues sont, pour la plupart, beaucoup moins exacts. Que reproche-t-on au fond à ces mots *watté* et *déwatté*? Simplement une mauvaise formation grammaticale, parce que ces vocables dérivent du nom de l'unité watt. Mais l'Académie française elle-même a bien reconnu la nécessité de se plier à l'usage pour accepter dans son dictionnaire des mots qui ne sont pas correctement formés, quand ils sont imposés par l'emploi général ⁽¹⁾. C'est un peu le cas des deux mots considérés qui ont reçu le droit de cité, non seulement en France, mais en Allemagne, en Angleterre et aux États-Unis. On dit *watt-strom*, *watt-current*, *wattloser-strom* et *wattless-current*. Nous nous trouvons donc en présence d'une *notation internationale* et il serait vraiment regrettable d'avoir à l'abandonner en France pour satisfaire à un scrupule grammatical.

(1) D'ailleurs les mots *tonnage*, *métré*, *arpentage*, etc., dont l'usage est général, dérivent bien de noms d'unités. *Wattman* est aussi entré dans le langage usuel, bien que beaucoup d'électriciens, dont je fus, aient essayé de le faire écarter.

D'ailleurs ces mots ont le grand avantage qu'ils définissent les composantes d'énergie et sans énergie beaucoup mieux que ceux qu'on propose à leur place. Les mots *courant en phase* et *courant en quadrature* manquent en effet de généralité et, comme le dit justement M. Tripier, il y a dans le courant une composante proportionnelle à la force électromotrice et une autre qui représente le terme complémentaire; chacune de ces composantes ne comprend pas seulement un terme de la fréquence fondamentale, mais toute une série d'harmoniques. On ne peut négliger ces harmoniques, car ils se rencontrent avec une grande intensité, non seulement dans l'arc électrique, mais encore dans beaucoup d'autres applications. Par exemple, un moteur synchrone dont la force électromotrice n'a pas la même forme de courbe que celle du réseau absorbe un courant *watté* à vide beaucoup plus considérable que la théorie ne l'indique; sa courbe en V a une ordonnée minima surélevée. Vouloir dire qu'elle représente le courant en phase serait commettre une erreur souvent considérable. On ne saurait trop protester d'une manière générale contre l'assimilation des courants industriels à des courants sinusoïdaux toutes les fois qu'on se préoccupe d'établir des définitions générales. Il faudrait donc, si l'on ne veut pas conserver les mots *watté* et *déwatté*, les remplacer au moins par des termes équivalents. Les mots *proportionnel* et *complémentaire* ne sont pas mal choisis, mais ils prêtent à la confusion dans le langage parce que le courant est proportionnel encore à bien d'autres choses, par exemple à une force électromotrice, à une capacité, à l'inverse d'une résistance, suivant les problèmes que l'on rencontre. Je préférerais les mots *actif* et *inactif* ou *inefficace* ou *réactif* qui ont été proposés par MM. Lauriol, Brunswick et Juppont; ou bien encore on pourrait dire le courant *ergique* pour celui qui produit le travail et le courant *anergique* ou *inerte* pour celui qui ne produit aucun travail. Ce dernier n'est pas toujours magnétisant; par exemple, dans un arc électrique, dans un condensateur ou un électrolyte produisant la polarisation, il n'y a pas de magnétisation. Le mot *inerte* pourrait servir utilement à rappeler que ce courant correspond aux effets d'inertie positive ou négative produits par la self-induction, la capacité, etc.

De même pour la puissance correspondant au courant déwatté,

si l'on n'accepte pas les mots *puissance déwattée*, toujours pour des motifs grammaticaux, on pourrait dire *puissance d'inertie* ou *puissance anergique*, tandis que les mots *puissance fictive*, *puissance imaginaire*, *puissance inactive*, ou *magnétisante*, *réactrice*, ne présentent pas la même généralité ou la même précision.

Mais, quoi qu'il en soit, pour les deux motifs indiqués ci-dessus, je ne crois pas qu'une proposition française de changer les mots *watté* et *déwatté* ait la moindre chance de succès dans un Congrès international à l'heure actuelle. Mieux vaut concentrer ses efforts sur des propositions plus importantes et susceptibles d'un succès. Celles que M. Hospitalier a formulées, très judicieusement et clairement dans sa conclusion, paraissent être dans ce cas, sauf quelques détails de forme; par exemple, dans les adjectifs, il serait bon de remplacer *linéaire* et *superficiq*ue par *linéique* et *superficiq*ue comme le propose M. Juppont, de façon que ces mots soient directement traduisibles en anglais et en allemand, condition qu'il ne faut jamais perdre de vue en matière de notations internationales. La suppression du horse-power paraît très justement réclamée. Quant à la lettre *d* pour les différentielles il ne faut pas oublier que, dans certains cas, on est conduit, en Analyse, à employer le *d* renversé pour distinguer les différentielles partielles dans les équations à plusieurs variables.

La question la plus importante de beaucoup est celle des unités fondamentales et, en particulier, des unités C.G.S. M. Lauriol a appelé avec raison l'attention sur la nécessité de n'employer comme mesure du temps que la seconde. Avec lui, je pense que l'unité naturelle pour la vente de l'énergie aurait dû être le mégajoule; les unités rapportées à l'heure ne sont justifiées par rien, pas même par le prétexte d'être plus faciles à comprendre pour le public, car le consommateur ne se rend pas mieux compte de la valeur du kilowatt-heure que de celle du mégajoule.

M. Hospitalier, qui propose avec raison, comme M. Kennelly, d'étendre la nomenclature des unités C.G.S., s'est fait depuis longtemps l'avocat de cette réforme; mais, jusqu'à une époque récente, il avait limité, je crois, ses propositions exclusivement à une nomenclature des unités *magnétiques*, et c'est pourquoi j'avais émis un avis opposé au Congrès de 1896, comme il l'a rappelé; la première con-

dition à remplir me semble être, en effet, que le système d'unités soit cohérent. A cette époque, il semblait possible et simple d'en réaliser un en créant des unités magnétiques cohérentes avec le système pratique (10^9 C. 10^{-11} G.S.) des noms qui les auraient rendues maniables; mais la nécessité d'attribuer à l'éther une perméabilité fictive égale à 10^9 présenterait de sérieux inconvénients et je suis convaincu, du reste, que le système *pratique* tout entier n'a vraiment plus d'autre raison d'être à l'heure actuelle que l'habitude que l'on a malheureusement prise de s'en servir (¹).

Aussi peut-on désirer, non seulement que des noms soient donnés aux unités magnétiques C.G.S., mais encore aux unités *électriques* C.G.S., et que leurs multiples soient rendus d'un maniement assez simple pour permettre de se passer ultérieurement des unités pratiques actuelles qui se trouvent compliquées en fait par l'introduction des puissances de 10 extrêmement variées suivant les cas. Pour permettre d'en juger, j'ai réuni dans le Tableau I les principaux multiples d'unités pratiques que l'on rencontre dans les applications; on voit qu'ils embrassent toute l'échelle des puissances de 10 sans aucune régularité; les préfixes micro, milli, hecto, etc. ne suffisent pas à les repérer par rapport aux unités C.G.S., si l'on a toujours présentes à l'esprit les définitions des unités pratiques. Combien il serait plus simple d'avoir des noms pour les unités C.G.S. et des préfixes pour leurs produits par des puissances de 10^3 . On s'en rend compte par le Tableau II résumant une des propositions que j'avais faites dans la Communication rappelée ci-dessus (en remplaçant seulement maxwell par weber pour l'unité de puissance); cette proposition consiste à donner, par exemple, aux unités les noms nouveaux suivants :

(¹) Sa création même résulte d'un malentendu; comme je l'écrivais en 1899 (Congrès de Boulogne-sur-Mer de l'Association française pour l'avancement des Sciences), à l'époque où le système du volt, de l'ampère, de l'ohm a été imaginé, on ne connaissait rien de l'Électricité industrielle moderne et l'on ne pouvait guère songer qu'aux applications télégraphiques; c'est ce qui explique que l'on ait trouvé naturellement l'unité C.G.S. de courant *trop grande* et qu'on ait cru nécessaire de la remplacer par l'unité dix fois plus petite : l'ampère. Toutes ces unités pratiques reposent sur une base fâcheuse, à savoir une unité de longueur égale au quadrant terrestre à 10^9 C.G.S.; cette unité est très gênante toutes les fois qu'il s'agit de faire des calculs de capacité de ligne, de flux magnétique, etc.

TABLEAU I. — NOMENCLATURE DES UNITÉS ET DE LEURS MULTIPLES USUELS.
Système actuel (dû pratique).

Multiples des unités C. G. S.	10^{-15}	10^{-11}	10^{-9}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	1.	10^2	10^3	10^7	10^8	10^9	10^{10}	10^{15}
Longueur..	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Quadrant	—	—
Masse.....	—	Unité pratique de masse		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Temps.....	—			—	—	—	—	—	Seconde	—	—	—	—	—	—	—
Intensité...	—	—	—	Micro-ampère	Milliampère	Ampère	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tension...	—	—	—	—	—	—	—	Micro-volt	—	—	—	—	Volt	—	—	—
Résistance.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Microhm	—	—	Ohm	—	Mégohm
Quantité...	—	—	—	—	Micro-coulomb	—	Coulomb	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Puissance..	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Watt	—	Hectowatt	Kilowatt	—
Energie...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Joule	—	—	—	—
Inductance.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Micro-henry	—	—	Henry	—	—
Capacité... Microfarad	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

TABLEAU II. — SCHÉMA D'UNE NOMENCLATURE PROPOSÉE DES UNITÉS C. G. S. ET DE LEURS MULTIPLES USUELS.

Quantités.	Sous-multiples.				Noms des unités.							Multiples.			
	10^{-15}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	Unités			10^3	10^6	10^9	10^{15}				
	Quintilli-	Trilli-	Micro-	Milli-	C. G. S.			Kilo-	Méga-	Trio-	Quinto-				
Intensité.....	—	Trilligalva	—	Milligalva	Galva (ni)			—	—	—	—	Quinto-			
Tension.....	—	—	—	—	Frank (lin)			—	—	—	—	—			
Résistance.....	—	—	—	—	Thom (son)			Kilothom	—	—	—	Quinto-			
Quantité.....	—	Trillipoisson	—	—	Poisson			—	—	—	—	—			
Puissance.....	—	—	—	—	Max (well)			—	—	—	—	—			
Inductance.....	—	—	—	—	Helm (holtz)			—	—	—	—	—			
Capacité.....	Quintilliarag	—	—	—	Arag (o)			—	—	—	—	—			
Énergie.....	—	—	—	—	Erg			—	—	—	—	—			

Intensité : *galvani* (en souvenir des premières expériences sur le courant électrique par Galvani).

Tension : *franklin* (en souvenir des expériences faites par ce savant sur les décharges sur les hautes tensions).

Résistance : *thomson* (en souvenir des recherches faites par ce savant pour la détermination de la résistance unité).

Quantité : *poisson* (par assonance avec *coulomb*).

Puissance : *weber*.

Inductance : *helmoltz* (même initiale que *henry*).

Capacité : *arago* (par assonance approximative avec farad).

En outre, on donnerait aux puissances successives de 10^3 les préfixes kilo, duo, trio, quatre, quinto et aux puissances de 10^{-3} les préfixes milli, billi, trilli, quatrilli, quintilli, et l'on éviterait de se servir d'autres multiples. Chaque multiple d'unité porterait ainsi en lui-même sa définition mnémonique; plusieurs de ces multiples se confondraient avec des unités actuellement en usage. Par exemple, le triothom (par abréviation) serait égal à l'ohm actuel et le quinthom égal au mégohm actuel, le trioweber serait égal à l'hectowatt. Les abréviations de ces nouveaux noms ne sont ni plus ni moins euphoniques que leurs devanciers et M. Hospitalier, quand il leur reproche d'être « d'allure un peu trop barbare », oublie que le *volt* et le *farad* sont construits suivant les mêmes principes et que l'habitude nous empêche d'être choqué de leur barbarie. Quintilliarag ne sonne pas plus mal que microfarad, ni quinthom moins bien que mégohm.

Des noms nouveaux me semblent préférable à l'emploi de simples préfixes tels que *ab* ou *abo* proposé par Kennelly (par exemple abvolt), ou *néo-* que j'avais proposés autrefois (par exemple néovolt pour l'unité C.G.S. de force électromotrice); M. Hospitalier lui-même (1)

(1) Il est vrai qu'il a toujours fallu vaincre une opposition conservatrice, en apparence irréductible, toutes fois qu'on a voulu faire adopter des noms nouveaux; cela s'est présenté dans tous les derniers Congrès; par exemple, à Genève, on a maintenu contre le *pyr* proposé le mot de *bougie* pour l'unité d'intensité lumineuse, bien qu'il ne soit pas mieux choisi que celui de *lampe* contre lequel s'élève M. Lauriol; les noms d'unités magnétiques ont eu à vaincre aussi de fortes oppositions, même la mienne, comme l'a rappelé M. Hospitalier. Je ne serais donc pas étonné qu'aujourd'hui on trouve excessif de donner des noms nouveaux aux unités C.G.S. électriques qui n'en ont pas; mais, comme ce n'est qu'une affaire de temps de les faire adopter peu à peu,

avait, du reste, remarqué en 1899 que ces préfixes donneraient lieu à de fréquentes confusions.

autant vaudrait les élaborer en bloc tout de suite plutôt que de laisser cette besogne à de nouveaux Congrès successifs; s'ils ne servent à rien, ils ne sauraient nuire; s'ils sont utiles, cela sera vite démontré par l'usage.

D'ailleurs il ne faut pas s'exagérer l'importance de cette question ni croire qu'on travaille en ce moment pour un avenir indéfini; toutes les unités C.G.S. reposent en effet sur la seconde sexagésimale et cette unité me paraît condamnée dans un avenir plus au moins éloigné. Le mouvement général qui porte à la décimalisation des unités de mesures ne saurait s'arrêter devant l'unité de temps, quoique plusieurs de nos confrères soient d'un avis opposé et aient obtenu de faire se prononcer la Société des Électriciens pour le *statu quo* il y a quelques années. Je n'ai pu trouver dans les motifs invoqués aucune justification absolue de cette opposition, si ce n'est la peur très légitime d'avoir à modifier de fond en comble un système qui a rendu jusqu'ici de grands services et auquel nous sommes habitués; c'est exactement le même sentiment qui empêche les Anglais d'adhérer au système métrique, il est destiné de même à disparaître. On s'exagère d'ailleurs beaucoup, je crois, les difficultés de la décimalisation du temps, maintenant surtout que la décimalisation des angles est une chose presque accomplie; il ne serait pas difficile de la faire accepter, même par le public, si l'on se contentait de remplacer les vingt-quatre heures du cadran par vingt heures un peu plus grandes divisées ensuite décimalement.

Mais je ne veux pas compliquer en ce moment les questions posées par cette nouvelle réforme; je profite seulement de cette occasion pour dire que je suis d'accord sur ce sujet avec certains électriciens (en particulier M. Juppont) pour demander qu'à l'avenir la Société des Électriciens ne s'oppose pas d'une manière irréductible à la proposition de la réforme de l'unité de temps et ne croie pas que les unités électriques C.G.S. sont définitives.

BIBLIOGRAPHIE.

Les câbles sous-marins. *Travaux en mer*, par M. A. GAR, Ingénieur à la Société industrielle des Téléphones. 1 vol. format 19 × 12. (*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire Léauté*. Gauthier-Villars, éditeur, Paris.)

Ce Volume fait suite à celui que l'auteur a consacré à la fabrication des câbles sous-marins ⁽¹⁾ et où il conduisait le lecteur depuis l'établissement de l'âme jusqu'à l'embarquement du câble terminé à bord du navire chargé de la pose.

Cette fois, nous accompagnons le navire, et, pendant le voyage, depuis la jetée jusqu'au moment où commence la pose, nous visitons toutes les parties du navire, étudiant les cuves, les machines à immerger, celles de relèvement, les grappins, les bouées, etc.

Arrivés au point choisi pour l'atterrissement du câble, nous assistons à l'opération, puis nous suivons la pose en pleine mer.

Nous voici arrivés, avec le Chapitre III, aux essais électriques. Ceux-ci sont incessants et s'exécutent pendant toute la durée de la pose, le laboratoire du bord restant en communication permanente avec la station d'atterrissement, sauf accidents.

Les Chapitres IV à VI étudient les propriétés électriques d'un câble sous-marin, les appareils spéciaux, transmetteurs et récepteurs des dépêches, les défauts qui surviennent au câble soit pendant, soit après la pose, en indiquant la manière d'effectuer les réparations.

La création de l'industrie des câbles sous-marins, avec la relation des insuccès du début, fait l'objet d'un Chapitre historique et vraiment captivant. Que d'efforts persévérants, de luttas et de dépenses pour arriver à créer les importants réseaux sillonnant actuellement les mers ! Ces réseaux comprennent près de 1800 câbles représentant environ 370000^{km}. Il n'a pas fallu 50 ans pour atteindre un semblable résultat !

Réuni à celui qui traite de la fabrication, le présent Livre donne, sous une forme concise, ce que le public et les techniciens peuvent désirer connaître sur les câbles sous-marins.

L'électricité et ses applications. — Deuxième Partie : *Les machines d'induction, production, distribution et utilisation de l'énergie électrique*, par M. A. REBOUD, ex-Directeur du Cours d'électricité industrielle de Vienne (Isère). 1 vol. format 21 × 13 de 377 pages avec 190 figures dans le texte. Ch. Béranger, éditeur, Paris, 1903.

Le premier Volume ⁽²⁾ exposait les principes généraux de l'électricité et du magnétisme, ainsi que les applications domestiques, industrielles et médicales du courant engendré par les piles électriques.

⁽¹⁾ Voir *Bulletin*, 1902, p. 850.

⁽²⁾ Voir *Bulletin*, 1903, p. 243.

Dans le second Volume, l'auteur étudie les machines d'induction et traite de la production, de la distribution et de l'utilisation industrielle de l'énergie électrique.

Quinze Chapitres sont consacrés au développement de ces diverses questions :

Généralités sur l'industrie électrique, grandeurs électriques, dynamos à courant continu, alternateurs, transformateurs, appareils accessoires, canalisations, éclairage par lampes à incandescence, par lampes à arc; fours électriques et travail électrique des métaux, électrochimie et électrometallurgie, moteurs électriques à courant continu et à courants alternatifs, applications de ces moteurs.

Après avoir tant parlé d'énergie électrique, M. Reboud traite, dans le Chapitre XIV, du transport électrique de la *force*. Un dernier Chapitre est réservé à la traction électrique; il est suivi de quatre Notes relatives à des lois, règlements, circulaires et prescriptions. En deux pages se trouvent résumés les travaux du Congrès de la Houille blanche.

L'Ouvrage se termine par l'énoncé et la solution d'un certain nombre de problèmes choisis parmi ceux qu'on rencontre le plus fréquemment dans la pratique.

Il n'y a pas d'*errata*. Le Chapitre des grandeurs électriques et le Tableau qui le résume en auraient cependant exigé quelques-uns.

L'Année électrique, électrothérapique et radiographique, par le Dr FOVEAU DE COURMELLES; 4^e année, 1 vol. Paris, Ch. Béranger; 1904.

Le quatrième Volume de *l'Année électrique* offre un intérêt particulier, en raison de l'extension donnée à de récents faits et découvertes, en plus des Chapitres techniques et industriels qui ont reçu leur développement ordinaire. Celui de *l'Hygiène et la sécurité électriques*, très documenté, est d'actualité du fait de la terrible catastrophe du Métropolitain de Paris, catastrophe dont le retour peut aussi bien être évité que maints accidents de la locomotion électrique.

Le *radium* et les corps radio-actifs sont traités sous forme de monographie, avec leurs propriétés physiques, chimiques et thérapeutiques. La radiothérapie, appliquée avec succès à la cure du cancer, y démontre sa puissance aussi réelle qu'ancienne, et la photothérapie est présentée comme capable de fournir des cures très curieuses.

Ajoutons que l'auteur apporte à ces travaux et à leur exposé une quote-part personnelle qu'on doit s'empresse de reconnaître.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

France.

La machine dynamo à courant continu, par E. ARNOLD. Tome I^{er} : *Théorie de la machine à courant continu*. Traduction française par E. BOISTEL et E.-J. BRUNSWICK. Paris, Ch. Béranger, 1904; 1 vol. in-8°, relié toile, avec fig. (*Don de l'Éditeur.*)

Utilisation des chutes d'eau par la production de l'énergie électrique. Application aux usages agricoles, par Paul-Lévy SALVADOR. Paris, Ch. Béranger, 1903; 1 vol. in-8°, broché, avec fig. (*Don de l'Auteur.*)

Leçons sur l'Électricité professées à l'Institut électrotechnique de Montefiore, par ERIC GERARD, Directeur de cet Institut. 7^e édition, entièrement refondue. Tome I^{er}. Paris, Gauthier-Villars, 1904; 1 vol. grand in-8°, broché. (*Don de l'Auteur et de l'Éditeur.*)

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admissions, p. 358. — Dons, p. 358. — *Discussion* sur les surtensions dans les canalisations électriques (suite de la) (MM. de Marchena, Brylinski, Guéry, Potier et R. V. Picou), p. 359. — Densité de courant et tension les plus favorables pour la transmission d'énergie (M. Swingedauw), p. 417. — Nouveau dispositif de dynamo à tension pratiquement constante et à vitesse variable applicable à l'éclairage électrique (M. Loppé), p. 431. — Note annexe à la Communication de M. de Marchena, p. 446.

Errata au *Bulletin* de mai, observations de M. Boucherot, p. 450.

CORRESPONDANCE : Programme de l'excursion organisée par l'American Institute of Electrical Engineers à l'occasion du Congrès de Saint-Louis, p. 451.

PÉRIODIQUES ÉTRANGERS, p. 455.

BIBLIOGRAPHIE, p. 459.

OUVRAGES OFFERTS, p. 464.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 1^{er} juin 1904 (1).

PRÉSIDENCE DE M. POLLARD.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir.

Le procès-verbal de la dernière Réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts pour la biblio-

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

thèque (voir p. 464) et des demandes d'admission suivantes :

MM.

Bourgue (A.), Ingénieur de la *Manufacture parisienne d'Appareillage électrique*, 35, boulevard Montparnasse, à Paris. — Présenté par MM. Maquaire et Riegel.

Gautereau (Henri-Lucien), Ingénieur électricien attaché à la *Société Bligny, De'afosse et Cie*, 39, rue Claude-Vellefaux, à Paris. — Présenté par MM. Bailly et A. Lévy.

Koch (Charles-Maximilien), Directeur de la *Société française d'Électricité A. E. G.*, 64, avenue Malakoff, à Paris. — Présenté par MM. Harlé et A. Bochet.

Nivet (Louis-Alphonse-Paul), Lieutenant de vaisseau, Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 9, rue Léonce-Reynaud, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Riccia (**Angelo della**), Ingénieur conseil de la *Société parisienne pour l'Industrie des chemins de fer et tramways électriques*, 31, avenue de l'Opéra, à Paris. — Présenté par MM. Legouez et Grosselin.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL fait part du programme de l'excursion organisée par l'American Institute of Electrical Engineers. Ce programme se termine par l'invitation adressée au Président de la Société des Électriciens de faire connaître aussi tôt que possible le nombre des membres devant assister au Congrès et prendre part à l'excursion.

Des remerciements sont adressés à l'auteur du don suivant :

A l'École :

MANUFACTURE PARISIENNE D'APPAREILLAGE

ÉLECTRIQUE..... 1 rhéostat de démarrage de 110 volts,
70 ampères.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

DISCUSSION SUR LES SURTENSIONS DANS LES CANALISATIONS ÉLECTRIQUES

(suite).

M. DE MARCHENA. — « Messieurs, les phénomènes d'oscillations électriques et les surtensions auxquelles ils peuvent donner lieu ont fait, de la part de nos collègues, MM. Picou et Brylinski, l'objet d'une étude savante et approfondie.

» Les conclusions en sont plutôt pessimistes et, en effet, les résultats des calculs qui nous ont été exposés sont fort peu encourageants.

» La première question qui se pose alors à l'esprit est la suivante : ces résultats défavorables sont-ils confirmés par la pratique journalière des faits ? En particulier, les câbles armés et les appareils générateurs ou récepteurs à courant alternatif à haute tension sont-ils fatalement mis hors de service par suite de surtensions se produisant dans les circonstances qui ont été passées en revue devant nous ?

» Je n'hésite pas, pour ma part, à répondre à cette question par la négative. Si redoutables qu'ils puissent paraître sur le papier, les phénomènes d'oscillations électriques ne sont pas, à mon avis, dans la pratique, la source de difficultés véritables, et cela est fort heureux, sinon l'emploi du courant alternatif à haute tension serait vraiment bien précaire.

» Si l'on admet ce premier point, la deuxième question qui se pose est la suivante : A quel motif attribuer cette immunité des installations à courant alternatif ? Est-ce à l'absence, dans la réalité des faits, des surtensions qui paraissent résulter du calcul ? Ou bien, est-ce que ces surtensions, tout en se produisant effectivement, n'ont pas tout l'effet nuisible que l'on pourrait craindre au premier abord ?

» C'est ce que je me suis efforcé de rechercher. Dans cet examen, je ferai tout d'abord la distinction entre :

» 1° Les oscillations en régime permanent, désignées par nos collègues sous le nom d'*oscillations forcées*, et provenant des harmoniques supérieurs de la force électromotrice ;

» 2° Les oscillations en régime variable ou oscillations propres provenant des variations brusques du régime du réseau.

I. OSCILLATIONS EN RÉGIME PERMANENT OU OSCILLATIONS FORCÉES.

» Les phénomènes de résonance dus aux harmoniques supérieurs de la force électromotrice ont été longtemps la terreur des électriciens ayant à exploiter des réseaux de câbles souterrains.

» Le calcul montre en effet que, si l'on désigne par

E , l'amplitude de la sinusoïde représentant la variation de la force électromotrice de fréquence ω ;

L, C, R , les valeurs de la self-induction, de la capacité et de la résistance disposées en série en circuit;

U , la différence de potentiel aux bornes de la capacité ;

on a, quand aucun récepteur n'est en circuit aux bornes de la capacité, la relation

$$U = \frac{E}{\sqrt{R^2 C^2 \omega^2 + (LC \omega^2 - 1)^2}} \quad (1).$$

» Pour un harmonique d'ordre n , cette expression devient

$$U_n = \frac{E_n}{\sqrt{R^2 C^2 n^2 \omega^2 + (LC n^2 \omega^2 - 1)^2}}.$$

» Quand la condition de résonance $LC n^2 \omega^2 = 1$ est satisfaite, on a

$$U_n = \frac{E_n}{R n C \omega} = E_n \frac{n L \omega}{R}.$$

» De telle sorte que si la valeur de la résistance R est faible (comme c'est en général le cas) par rapport à la valeur de la réactance $L \omega$, le rapport $\frac{U}{E_n}$ peut atteindre une valeur très considérable.

» Par exemple, si la résonance est produite pour le 11^e harmonique, et si l'on a d'autre part,

$$\begin{aligned} E_{11} \text{ (amplitude du 11^e harmonique)} &= 0,10 E, \\ L \omega &= 3 R, \end{aligned}$$

(1) Voir la Note I annexée à ce Mémoire.

on aura

$$U_n = 3,3 E.$$

» La valeur maxima de la tension aux bornes de la capacité pourrait donc être plus que quadruplée.

» Quand il y a de la charge sur le réseau, c'est-à-dire quand la capacité est shuntée par une certaine résistance r , la relation donnant la tension aux bornes de la capacité au moment de la résonance devient très sensiblement :

$$U_n = E_n \times \frac{n L \omega}{R + n^2 \frac{(L \omega^2)^2}{r}} \quad (1).$$

» Supposons, comme précédemment, la résonance produite pour le 11^e harmonique, et soient

$$E_{11} = 0,10 E,$$

$$L \omega = 3 R.$$

» Nous aurons, pour $r = 30 R$,

$$U = 0,09 E;$$

pour $r = 100 R$,

$$U = 0,30 E.$$

» Si nous comparons ces résultats avec celui trouvé dans le cas de la charge nulle (c'est-à-dire pour $r = \infty$), nous voyons qu'une très faible charge suffit pour atténuer énormément les surtensions que tendraient à produire les harmoniques supérieurs.

» Cette première observation, d'ailleurs confirmée par l'expérience, suffirait déjà à diminuer beaucoup les craintes que l'on pourrait concevoir. Néanmoins, on peut redouter que le danger ne subsiste toujours à vide et que l'on puisse voir alors se produire des surtensions caractérisées par la formule :

$$U_n = E_n \frac{n L \omega}{R}.$$

» Mais il n'en est rien, et je ferai à ce sujet les remarques suivantes :

» *Première remarque.* — Nous n'avons pas tenu compte, dans ce

(1) Voir la Note I annexée à ce Mémoire.

qui précède, de ce fait primordial qu'en régime permanent la valeur de la tension efficace, telle qu'elle est mesurée par les voltmètres ou l'éclat des lampes à incandescence, est maintenue constante sur le réseau, c'est-à-dire aux bornes de la capacité, quelles que soient les déformations subies par les courbes de force électromotrice.

» Cela veut dire que $\frac{1}{T} \sum_0^T U^2 dt$ reste toujours constant et égal au carré de la tension efficace U_e .

» Voyons ce qui se passe quand, à l'onde principale, s'ajoute un harmonique d'ordre n notablement accentué, comme cela a lieu au voisinage de la résonance de cet harmonique.

» Si nous désignons par E_0 et E_n les amplitudes respectives de l'onde principale et de l'harmonique, on a à chaque instant la relation

$$U = E_0 \sin \omega t + E_n \sin n \omega t.$$

» D'où l'on tire

$$\begin{aligned} U^2 &= E_0^2 \sin^2 \omega t + E_n^2 \sin^2 n \omega t + 2 E_0 E_n \sin \omega t \sin n \omega t, \\ \frac{1}{T} \int_0^T U^2 dt &= \frac{1}{T} \left[E_0^2 \int_0^T \sin^2 \omega t dt + E_n^2 \int_0^T \sin^2 n \omega t dt + 2 E_0 E_n \int_0^T \sin \omega t \sin n \omega t dt \right]. \end{aligned}$$

» Calculons la valeur de ces intégrales pour une demi-période de l'onde principale $T = \frac{\pi}{\omega}$.

» Il est facile de démontrer que

$$\begin{aligned} \frac{\omega}{\pi} \int_0^{T=\frac{\pi}{\omega}} \sin^2 \omega t dt &= \frac{1}{2}, \\ \frac{\omega}{\pi} \int_0^{T=\frac{\pi}{\omega}} \sin^2 n \omega t dt &= \frac{1}{2}, \\ \int_0^{\frac{\pi}{\omega}} \sin \omega t \sin n \omega t dt &= 0. \end{aligned}$$

» D'où l'on tire

$$\frac{1}{T} \sum_0^T U^2 dt = U_e^2 = \frac{E_0^2}{2} + \frac{E_n^2}{2}.$$

» Par suite, quand l'amplitude E_n de l'harmonique augmente,

celle de E_0 de l'onde principale doit être réduite par la manœuvre du rhéostat de champ de la machine pour maintenir la constance de U_e .

» La valeur maxima de la tension instantanée aux bornes de la capacité a pour expression

$$U_{\max} = E_0 + E_n.$$

» Si l'harmonique n'existait pas, cette valeur maxima serait

$$U'_{\max} = U_e \sqrt{2}.$$

» La surélévation maxima de tension qui puisse se produire, tout autant que la tension efficace est maintenue constante, est mesurée par le rapport

$$\mu = \frac{U_{\max}}{U'_{\max}} = \frac{E_0 + E_n}{U_e \sqrt{2}} = \frac{E_0 + E_n}{\sqrt{2}(E_0^2 + E_n^2)}.$$

» Il est facile de montrer que μ est maximum quand $E_n = E_0$ et qu'alors μ a pour valeur

$$\mu = \sqrt{2}.$$

» Par conséquent, tant qu'il n'y a pas augmentation de tension efficace (et cette augmentation serait aussitôt signalée par les appareils de mesure à lecture directe ou à enregistrement et par les lampes à incandescence) les harmoniques ne peuvent donner lieu à une surélévation de tension dépassant de plus de 40 pour 100 la tension maxima à laquelle donnerait lieu une sinusoïde parfaite.

» A la limite, quand un harmonique d'amplitude notable est en pleine résonance, son principal effet est de modifier la fréquence du réseau et nullement de donner de grandes surélévations de la tension instantanée maxima.

» Aussi arrive-t-on à ce résultat, qui peut paraître bizarre au premier abord, mais que les relevés ondographiques confirment pleinement, que :

» 1° Des harmoniques d'amplitude modérée et même faible donnent, pratiquement, quand ils sont en résonance, des maxima plus élevés que des harmoniques de grande amplitude;

» 2° Avec ces derniers, les résultats les plus défavorables se produisent quand on est encore assez loin de la résonance.

» D'une manière générale, les résultats les plus défavorables sont

obtenus quand la déformation de la sinusoïde principale est assez accentuée pour que la tension présente, durant la demi-période, plusieurs minima très voisins de zéro, mais néanmoins pas assez accentuée pour que ces minima deviennent des éléments négatifs avec changement de signe de la tension.

» Cela se comprend d'ailleurs très facilement, et il est inutile d'insister là-dessus.

» *Seconde remarque.* — On serait tenté de croire que quand on approche, tout au moins à vide, des conditions de résonance d'un harmonique, on est obligé de réduire considérablement l'excitation pour empêcher l'augmentation de la tension efficace.

» En réalité, il n'en est pas ainsi, du moins pour les harmoniques d'ordre élevé, tels que ceux dus à la denture. Cela provient de ce que dans l'expression

$$U = E \frac{nL\omega}{R}$$

la valeur de R est très sensiblement supérieure à celle qui devrait entrer dans les calculs relatifs à l'onde principale.

» En effet, comme l'a déjà fait remarquer M. Boucherot durant notre dernière séance, ce terme R doit tenir compte non seulement de la résistance ohmique proprement dite, mais encore de toutes les résistances passives donnant lieu à des pertes d'énergie et, par suite, à des chutes de tension en phase avec Ri ; en particulier il doit comprendre :

» *a.* Les pertes dans le fer entrant dans la constitution de toutes les self-inductions industrielles, et l'exemple donné par M. Boucherot montre toute l'importance que ces pertes peuvent avoir aux hautes fréquences.

» *b.* Les pertes dans les armatures métalliques des câbles armés, pertes qui doivent, probablement, être loin d'être négligeables pour les harmoniques supérieurs.

» En effet, l'induction dans l'armature doit être très faible pour les courants produits dans chacun des conducteurs par l'onde principale, courants qui sont décalés les uns par rapport aux autres, de telle sorte que leur action résultante est sensiblement nulle.

» Au contraire, les courants dus aux harmoniques supérieurs sont à peu près en concordance de phase dans les divers conduc-

teurs constituant le câble et doivent, par suite, avoir une action inductive énergétique sur l'armature en plomb et sur celle en fer feuillard.

» Il doit en résulter, dans ces armatures, des courants de Foucault qui peuvent augmenter dans de grandes proportions la résistance effective des câbles armés aux courants provenant des harmoniques supérieurs.

» c. L'augmentation de résistance ohmique dû à l'effet Thomson qui est très marqué aux fréquences élevées correspondant aux harmoniques supérieurs.

» Tous ces phénomènes conduisent à réduire considérablement le rapport $\frac{nL\omega}{R}$, et il n'y aurait rien d'étonnant à ce que ce rapport ait le même ordre de grandeur pour les harmoniques supérieurs que pour l'onde principale.

» Dans ces conditions, la résonance n'amplifierait pas d'une manière démesurée l'amplitude des harmoniques supérieurs; à mon avis, elle la multipliera rarement par plus de 4 ou 5 quand son amplitude initiale sera déjà notable, et pas plus de 8 à 10 quand cette amplitude sera faible.

» Dans ces conditions, il sera difficile que la tension *efficace lue aux voltmètres* augmente de plus de 10 à 15 pour 100 au moment d'une résonance.

» Ces résultats sont entièrement d'accord avec les expériences que j'ai eu l'occasion de faire sur ces phénomènes.

» *Conclusion.* — Les considérations qui précèdent me semblent conduire à la conclusion que les harmoniques supérieurs ne présentent pas les dangers que l'on redoute communément, tout au moins au point de vue de la conservation des isolants.

» Il est préférable, néanmoins, pour divers motifs, d'avoir des alternateurs donnant une sinusoïde débarrassée d'harmoniques supérieurs très marqués et, en particulier, d'harmoniques dus aux dentures; il est très facile d'ailleurs d'y arriver par des moyens très simples n'augmentant pas le prix de revient des appareils, et permettant de réduire à moins de 3 ou 4 pour 100 l'amplitude des harmoniques en question. Mais je crois tout à fait inutile de les pourchasser avec la rigueur impitoyable que préconisent certains de

nos collègues, et toute dépense supplémentaire qui pourrait être faite de ce chef sur les alternateurs serait, à mon avis, beaucoup plus judicieusement employée au renforcement des isolants.

» *Capacité répartie.* — Avant de quitter le sujet des oscillations forcées, je crois bon de dire quelques mots sur la différence qu'il y a entre la capacité supposée concentrée en un seul point (telle que l'a supposée M. Picou pour la simplification de son exposé) et la capacité répartie telle qu'elle se présente en réalité dans tous les réseaux, si petits soient-ils, et dont M. Brylinski nous a fait une étude approfondie.

» La capacité répartie consiste à envisager la capacité totale comme constituée par une infinité de petits condensateurs séparés les uns des autres par une infinité de petites self-inductions et de petites résistances.

» L'hypothèse de la capacité répartie ne peut donner lieu à des modifications sensibles par rapport à l'hypothèse de la capacité concentrée que quand ces résistances et ces self-inductions ont des valeurs telles qu'elles absorbent, par le passage des courants qui sont appelés à y circuler, des différences de potentiel ayant une valeur notable par rapport aux différences de potentiel mises en jeu aux bornes de ces capacités.

» Il en résulte que, avec les proportions que conduisent à adopter pour la constitution des réseaux les conditions de bonne exploitation, l'hypothèse de la capacité répartie ne doit pas, *a priori*, conduire à des résultats sensiblement différents de ceux auxquels donne lieu l'hypothèse de la capacité concentrée; on est donc tout à fait justifié à faire cette dernière hypothèse à titre de simplification, et les erreurs auxquelles on s'expose de ce chef sont bien inférieures à celles qui proviennent de bien d'autres inexactitudes des hypothèses initiales servant de base à toutes les théories.

» Ceci posé, je crois intéressant d'interpréter d'une manière élémentaire le résultat le plus saillant auquel M. Brylinski a été conduit dans son étude sur la capacité répartie; je veux faire allusion au fait mis en lumière par lui que, pour un réseau déterminé comprenant une capacité répartie, il existe une infinité d'harmoniques satisfaisant aux conditions de résonance.

» Pour interpréter ce fait, supposons d'abord, comme l'a fait M. Brylinski, la résistance négligeable, et soit :

U_0 la différence de potentiel de fréquence ω à l'extrémité de la capacité répartie ;

γ la capacité par unité de longueur ;

λ la self-induction par unité de longueur.

» Chaque élément de capacité $\gamma \Delta x$ donnera lieu à un courant de charge

$$\Delta i = U \omega \gamma \Delta x.$$

» Si le courant est nul à l'extrémité libre de la ligne, c'est-à-dire si celle-ci n'alimente aucun récepteur, tous les courants de charge élémentaires seront en phase entre eux, de telle sorte que le courant i en un point quelconque sera donné par la relation

$$(1) \quad i = \gamma \omega \int_0^x U dx.$$

» D'autre part, la perte de charge occasionnée par le passage du courant i dans chaque self-induction élémentaire sera

$$\Delta U = i \omega \lambda \Delta x.$$

» Toutes ces pertes de charge seront en phase entre elles et avec la différence de potentiel U_0 à l'extrémité libre, de telle sorte que l'on aura en chaque point

$$(2) \quad U = U_0 - \lambda \omega \int_0^x i dx.$$

» On voit qu'à mesure que x augmente U diminue, et il arrive un moment, quand x est assez grand, où U s'annule ; i est alors maximum. Si l'on augmente encore x , U change de signe et augmente en valeur absolue tandis que i diminue.

» U arrive ainsi à atteindre un maximum négatif pour une valeur de x suffisamment élevée pour que i s'annule, et, si l'on continue à augmenter x , les valeurs négatives de U diminueront à leur tour pour s'annuler à nouveau pour une certaine valeur de x .

» Si l'on porte x en abscisses et les valeurs correspondantes de U

et de i en ordonnées, on aura deux courbes ayant la physionomie ci-contre (fig. 1) :

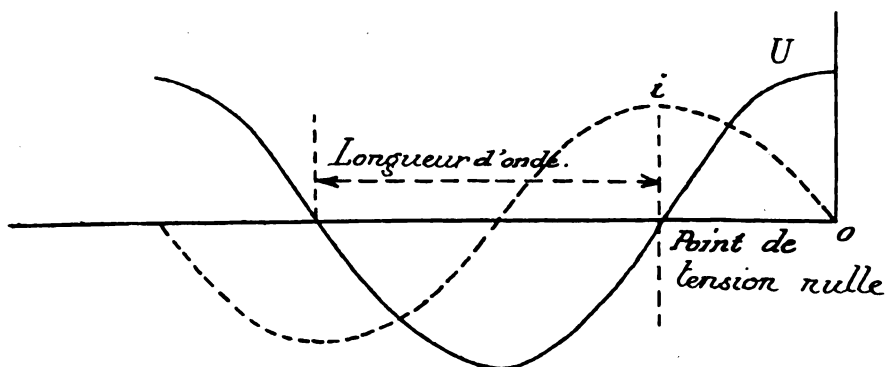


Fig. 1.

» Il est facile de démontrer que ces courbes sont des sinusôides données par les équations

$$(3) \quad U = U_0 \cos x(\omega\sqrt{\lambda\gamma}),$$

$$(4) \quad i = U_0 \sqrt{\frac{\gamma}{\lambda}} \sin x(\omega\sqrt{\lambda\gamma}).$$

» De l'équation (3) on tire :

$$\frac{U_0}{U} = \frac{1}{\cos x(\omega\sqrt{\lambda\gamma})}.$$

» Il en résulte que $\frac{U_0}{U}$ devient maximum et infini pour toutes les valeurs de x satisfaisant à la relation

$$\omega x \sqrt{\lambda\gamma} = \frac{\pi}{2} (2k + 1).$$

» Inversement, pour une même valeur de x , cette équation qui fixe les conditions de résonance du réseau peut être satisfaite pour une infinité de valeurs de ω obtenues en y remplaçant k par toute la série des nombres entiers.

» Quand un alternateur de self-induction L est branché sur la ligne, la résonance a lieu pour les valeurs de x annulant $U - L\omega i$ et non pas pour celles annulant U .

» Or

$$\begin{aligned}
 U &= U_0 \cos x \omega \sqrt{\lambda \gamma}, \\
 L \omega i &= U_0 L \omega \sqrt{\frac{\gamma}{\lambda}} \sin x \omega \sqrt{\lambda \gamma}, \\
 (5) \quad U - L \omega i &= U_0 \left[\cos x \omega \sqrt{\lambda \gamma} - L \omega \sqrt{\frac{\gamma}{\lambda}} \sin x \omega \sqrt{\lambda \gamma} \right] \\
 &= U_0 \sqrt{1 + \frac{L^2 \omega^2 \gamma}{\lambda}} \cos [x \omega \sqrt{\lambda \gamma} + \beta],
 \end{aligned}$$

où

$$\tan \beta = L \omega \sqrt{\frac{\gamma}{\lambda}}.$$

$U - L \omega i$ s'annulera pour toutes les valeurs de x satisfaisant à la relation

$$(6) \quad \omega x \sqrt{\lambda \gamma} = \frac{\pi}{2} - \beta + k\pi.$$

» Inversement, les conditions de résonance se réaliseront, pour une même valeur de x , pour une infinité de valeurs de ω obtenues en remplaçant, dans l'expression (6), k par toute la série des nombres entiers.

» Mais, pour accorder à ces résultats leur véritable valeur, il est bon de chercher à se rendre compte des valeurs de x qui peuvent ainsi satisfaire à ces équations, autrement dit, de la longueur (pour les fréquences usuelles) des ondes sinusoïdales représentatives de la variation des différences de potentiel.

» Ces longueurs d'onde l sont données par la relation

$$\omega l \sqrt{\lambda \gamma} = \pi;$$

d'où

$$\omega l = \frac{\pi}{\sqrt{\lambda \gamma}}.$$

» Examinons, par exemple, le cas d'une ligne aérienne triphasée à trois conducteurs de 6 à 7 mm. de diamètre espacés de 50 cm.

» On aura, à peu près, pour la fréquence de 50 cycles

$$\lambda \omega = 0,7 \text{ ohm par kilomètre,}$$

$$\frac{1}{\gamma \omega} = 600\,000 \text{ ohms;}$$

d'où l'on déduit

$$l = 1840 \text{ km.}$$

» Pour l'harmonique 11, on aurait encore

$$l_{11} = 168 \text{ km.}$$

» Par suite, les harmoniques qui pourraient donner lieu aux résonances répondant aux valeurs de k supérieures à zéro sont d'ordre tellement élevé qu'il n'y a pas lieu, pratiquement, de les envisager pour les réseaux industriels constitués par des lignes aériennes.

» Avec les câbles armés, la capacité γ est plus grande, mais la self-induction λ est plus faible, de telle sorte que les longueurs d'onde sont aussi grandes, sinon plus que dans le cas des lignes aériennes.

» D'autre part, nous avons négligé (comme l'a fait M. Brylinski dans ses calculs) l'influence de la résistance. Or celle-ci est, dans les lignes aériennes, à peu près du même ordre de grandeur que la réactance pour la fréquence normale. Pour les câbles armés, la résistance est très supérieure à la réactance (à ce sujet, il est bon de remarquer que l'armature ne peut renforcer cette dernière par suite des courants de Foucault qui ont toute liberté de se produire dans l'enveloppe en plomb, et dont l'effet doit être de rendre le champ absolument nul dans l'armature en fer feuillard).

» Quand on tient compte de la résistance, les phénomènes se passent d'une manière bien différente. La tension ne peut plus s'annuler en aucun point de la ligne; elle passe par un premier minimum pour la valeur de x donnant lieu à la première résonance, puis présente une série d'ondulations dont les points bas, espacés de la longueur d'onde, donnent lieu à des minima très rapidement croissants, bien supérieurs au premier et généralement même à la différence de potentiel à l'extrémité libre ⁽¹⁾.

» Il en résulte que l'harmonique correspondant à $k = 0$ donnera lieu à la plus grande surélévation de tension et qu'il sera seul intéressant à considérer.

» Les capacités réparties se comportent donc, pratiquement, pour l'étude des phénomènes que nous avons à envisager, comme les capacités concentrées, et les conclusions que nous avons trouvées dans le cas de ces dernières demeurent entièrement applicables aux premières.

(1) Voir la Note II, page 446.

II. OSCILLATIONS PROPRES PROVENANT DES VARIATIONS BRUSQUES DU RÉGIME DU RÉSEAU.

» Les changements de régime peuvent être produits soit par des manœuvres d'interrupteurs (ouverture ou fermeture), soit par des accidents donnant lieu à la formation ou à la rupture de courants de court-circuit.

» Dans les deux cas (et surtout dans le premier) ils sont une conséquence naturelle des circonstances ou des nécessités de l'exploitation, et il serait utopique de chercher à les éviter d'une manière absolue. S'ils devaient vraiment présenter d'extrêmes dangers, ils auraient pour résultat de rendre toute exploitation pratiquement impossible.

» Examinons d'un peu près les phénomènes oscillatoires qui tendent à prendre naissance lors d'un changement de régime, et désignons par L , C , R les valeurs respectives de la self-induction, de la capacité et de la résistance en circuit.

» Quand le changement de régime se fait d'une manière *instantanée*, et qu'après le changement il ne reste plus en circuit *aucun récepteur shuntant* la capacité, à l'onde principale de la différence de potentiel, aux bornes de la capacité, se superpose une onde oscillante plus ou moins amortie, exprimée par une équation de la forme

$$U = B e^{-\alpha t} \cos(\beta + mt) \quad (1),$$

dans laquelle B et β sont des constantes dépendant des conditions initiales, et où les facteurs α et m ont pour valeur

$$\alpha = \frac{R}{2L},$$

$$m = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}},$$

et très approximativement, en négligeant $\frac{R^2}{4L^2}$ devant $\frac{1}{LC}$,

$$m = \sqrt{\frac{1}{LC}},$$

(1) Voir la Note I annexée à ce Mémoire.

» De ces expressions, on peut déduire :

» 1° La durée t_0 de la période de l'oscillation propre

$$t_0 = \frac{2\pi}{m} = 2\pi\sqrt{LC};$$

» 2° La valeur du facteur d'amortissement

$$e^{-\alpha t} = e^{-\frac{Rt}{2L}}.$$

» En particulier, après un quart de période, le facteur d'amortissement a pour valeur

$$A_1 = e^{-\frac{\pi R}{4} \sqrt{\frac{C}{L}}}.$$

» L'oscillation qui prend ainsi naissance est due à la transformation de l'énergie emmagasinée sous forme de $\frac{LI^2}{2}$ en énergie $\frac{CU^2}{2}$ et *vice versa*, avec disparition, à chaque demi-oscillation, d'une fraction de cette énergie sous forme d'énergie calorifique RI^2 dissipée par effet Joule, par hystérésis ou par courants de Foucault.

» L'amplitude de l'oscillation dépend des conditions initiales; d'une manière générale, elle est d'autant plus grande que l'importance du changement brusque de régime est plus considérable.

» Nos collègues, MM. Picou et Brylinski, nous ont montré que, quand il s'agissait de la fermeture d'un interrupteur, l'amplitude était sensiblement égale à celle de la force électromotrice principale, de telle sorte que la différence de potentiel instantanée aux bornes du condensateur pouvait être à peu près doublée.

» Quand il s'agit de l'ouverture d'un circuit, cette amplitude dépend uniquement de la valeur i_0 du courant coupé, et elle a, à très peu près, pour valeur,

$$B = i_0 \sqrt{\frac{L}{C}},$$

comme on peut, d'ailleurs, le déduire de suite du principe de la conservation de l'énergie en posant

$$\frac{1}{2} Li_0^2 = \frac{1}{2} CB^2.$$

» Toutefois ceci suppose expressément que le changement de régime se fait d'une manière *mathématiquement instantanée*, c'est-

à-dire qu'il est complet dans un temps négligeable par rapport à la périodicité des courants envisagés.

» Cette hypothèse est certainement inexacte pour tous les changements de régime produits par des manœuvres d'interrupteurs, et principalement quand ces interrupteurs sont du type à rupture dans l'huile, dont l'emploi se répand de plus en plus avec juste raison pour les hautes tensions.

» Avec ces appareils, la fermeture et la rupture, quelque rapides qu'elles soient, doivent être considérées, en réalité, comme des ruptures et des fermetures sur résistances progressives par suite de l'étincelle qui prolonge ou précède l'établissement du circuit.

» Dès lors, l'hypothèse fondamentale sur laquelle est basée l'étude des oscillations propres se trouve renversée, et l'énergie $\frac{Li_u^2}{2}$ de l'extra-courant de rupture, au lieu d'être consacrée tout entière à charger la capacité formée par les câbles, est, pour une grande partie, simplement dissipée en chaleur dans l'interrupteur.

» Il ne faut pas perdre de vue que cette quantité d'énergie qui donne naissance aux oscillations n'est jamais bien considérable en valeur absolue; pour donner une idée de son importance, il me suffira de faire remarquer que, pour la rupture du circuit d'un alternateur de 1000 kilowatts à pleine charge, elle est seulement de l'ordre de grandeur de quelques dixièmes de calorie.

» En pratique, et quelles que soient les intensités de courant coupées au moyen d'interrupteurs à huile, je n'ai jamais eu occasion de constater des surélévations de tension appréciables; en particulier, je n'ai jamais constaté d'amorçage, à la suite de ces manœuvres, des parafoudres ou des limiteurs de tension placés dans le voisinage.

» Il est bon d'ailleurs de faire remarquer que la présence de la capacité joue, au moment des changements de régime, un rôle plutôt utile; sans cette capacité, l'extra-courant de rupture n'aurait pas d'autres chemins que le circuit qui vient d'être ouvert ou l'isolement des appareils électriques. La capacité du réseau lui offre un troisième chemin qui ne peut que diminuer la violence de l'étincelle de rupture et la fatigue des isolants.

» Les changements de régime ayant un caractère accidentel et provenant de la formation ou de la rupture de courts-circuits sont, à mon avis, beaucoup plus dangereux, non seulement parce qu'ils

mettent en jeu des intensités de courant, et, par suite, des quantités d'énergie oscillante plus considérables, mais, surtout, parce qu'ils se produisent avec une instantanéité qui se rapproche beaucoup plus de l'instantanéité mathématique. Ce sont les seuls phénomènes qui m'aient fourni l'occasion de constater des effets de surtensions très nets, manifestés extérieurement par des décharges de parafoudres réglés pour une tension bien supérieure à la tension de service.

» Les productions accidentelles de courts-circuits me paraissent donc seules présenter des dangers sérieux pour l'isolement des installations à haute tension, et il faut s'attacher à les éviter dans la mesure du possible, en soignant d'une manière parfaite l'isolement de toutes les parties de l'installation et en évitant de mettre de nouveaux appareils en service sans les avoir éprouvés et avoir constaté qu'ils présentent un coefficient de sécurité convenable.

» Néanmoins, même dans ce cas, les dangers encourus sont fortement atténués par diverses circonstances que nous allons examiner, et l'on peut, à mon avis, espérer y parer dans la plupart des cas par un choix judicieux du coefficient de sécurité à adopter.

» Pour nous rendre un compte exact de la nature du phénomène, reprenons l'examen du facteur d'amortissement.

» Les valeurs de ce facteur, au bout de $\frac{1}{4}$ de période de l'onde oscillante, puis de $\frac{5}{4}$, $\frac{9}{4}$, ... de période, sont données par les expressions ci-après :

$$A_1 = e^{-\frac{\pi R}{4} \sqrt{\frac{C}{L}}},$$

$$A_2 = e^{-\frac{5\pi R}{4} \sqrt{\frac{C}{L}}},$$

$$A_3 = e^{-\frac{9\pi R}{4} \sqrt{\frac{C}{L}}}.$$

» Supposons, par exemple, une installation pour laquelle nous ayons pour R , L , C les valeurs suivantes (se rapportant à la fréquence ω de la force électromotrice principale), valeurs qui correspondent à celles que l'on rencontre couramment en pratique :

$$\omega LI_0 = 0,3 E_0,$$

$$\omega CE_0 = 0,05 I_0,$$

$$RI_0 = 0,10 E_0,$$

E_0 étant la tension normale; I_0 le courant de pleine charge.

» On en déduit

$$\frac{R^2 C}{L} = \frac{0,1^2 \times 0,05}{0,3} = 0,00167,$$

d'où l'on tire

$$A_1 = 0,968,$$

$$A_2 = 0,852,$$

$$A_3 = 0,750.$$

» L'amortissement, même dans ces conditions, est donc sensible au bout de très peu de périodes de l'onde oscillante dont la durée n'est, elle-même, qu'une faible partie de celle de l'onde principale (dans le cas actuel environ le $\frac{1}{9}$).

» Mais, en réalité, il y a tout lieu de penser que cet amortissement est beaucoup plus énergique, car les valeurs de R qui doivent entrer dans les calculs sont beaucoup plus grandes à la fréquence élevée de l'oscillation qu'à la fréquence de l'onde principale, et ce, pour les mêmes raisons que nous avons déjà passées en revue dans l'étude des harmoniques.

» Si nous supposons, en conséquence, que R augmente en proportion de la fréquence, c'est-à-dire possède une valeur par exemple dix fois plus considérable à la fréquence élevée de l'oscillation qu'à la fréquence fondamentale (et cette hypothèse n'a rien de bien exagéré), les coefficients d'amortissement deviendront :

$$A_1 = 0,725,$$

$$A_2 = 0,200,$$

$$A_3 = 0,055.$$

» L'amortissement serait alors très énergique, et la première demi-oscillation pourrait seule conserver une valeur dangereuse.

» Les isolants ne sont donc probablement exposés à une surtension redoutable que pendant un laps de temps extrêmement court, de l'ordre du millième de seconde. Or il paraît plus que probable que la durée d'application du haut potentiel doit jouer un rôle important dans la rupture des isolants, de telle sorte que l'extrême rapidité avec laquelle sont amorties les ondes oscillantes doit atténuer très considérablement le danger qu'elles peuvent présenter.

» *Emploi des limiteurs de tension.* — Pour combattre les surtensions dues aux phénomènes d'oscillations propres, on a proposé divers dispositifs qui se ramènent tous, comme l'a indiqué M. Picou, à l'établissement, entre les différentes phases, de parafoudres calculés pour établir une dérivation artificielle aussitôt que la tension entre phases dépasse une valeur fixée à l'avance. Ces parafoudres sont généralement du type à ruptures multiples, qui facilite l'extinction de l'arc une fois que l'élévation momentanée de la tension a disparu, et munis de résistances qui fixent l'importance du courant ainsi dérivé (courant qu'il convient de limiter à un ou deux ampères par appareil afin de rendre facile l'extinction de l'arc).

» Si l'on désigne par r la valeur de la résistance qui se trouve ainsi branchée entre les bornes de la capacité, du fait de l'installation de ces parafoudres, il est facile de se rendre compte qu'ils donneront les résultats suivants ⁽¹⁾ :

» 1° Ils réduiront l'amplitude de l'oscillation dans un rapport voisin de

$$\sqrt{\frac{r}{R+r}}.$$

» Or, comme r est toujours très grand par rapport à R , il en résulte que l'amplitude de l'onde oscillante ne sera pas diminuée d'une manière appréciable par l'établissement de ces appareils.

» 2° Ils ne modifieront pas sensiblement la périodicité de l'oscillation.

» 3° Ils augmenteront par contre d'une manière notable l'importance du facteur d'amortissement.

» Ce facteur qui était

$$A = e^{-\frac{R}{2L}t}$$

devient

$$A' = e^{-\left(\frac{R}{2L} + \frac{1}{2rC}\right)t},$$

qui peut s'écrire

$$A' = A \delta,$$

δ étant un facteur d'amortissement supplémentaire provenant de la présence de la résistance r et dont la valeur est fournie par l'expres-

(1) Voir la Note I, annexée à ce Mémoire.

sion

$$\delta = e^{-\frac{1}{2rC}t}.$$

» Examinons les valeurs de ce facteur δ pour les temps t_1, t_2, t_3 , etc., correspondant au premier quart de la période oscillante, puis à $\frac{5}{4}, \frac{9}{4}, \dots$:

$$\delta_1 = e^{-\frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{L}{r^2C}}},$$

$$\delta_2 = e^{-\frac{3\pi}{4}\sqrt{\frac{L}{r^2C}}},$$

$$\delta_3 = e^{-\frac{5\pi}{4}\sqrt{\frac{L}{r^2C}}}.$$

» Supposons que l'on ait, comme précédemment,

$$\omega L = 0,3 \frac{E_0}{I_0},$$

$$\omega C = 0,05 \frac{I_0}{E_0},$$

et soit

$$\frac{E_0}{r} = 0,05 I_0,$$

d'où

$$r = 20 \frac{E_0}{I_0}.$$

On aura alors

$$\frac{L}{r^2C} = 0,015.$$

» D'où l'on déduit

$$\delta_1 = 0,91,$$

$$\delta_2 = 0,63,$$

$$\delta_3 = 0,44.$$

» Si r était deux fois moindre, les valeurs de $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ deviendraient respectivement : 0,83; 0,40; 0,19.

» On voit par cela que si l'installation de parafoudres de ce genre n'a pas pour effet de réduire beaucoup l'amplitude de la première demi-oscillation, elle contribue certainement, et très efficacement, à en activer l'amortissement; à ce titre, ils pourront jouer un rôle utile.

» Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que, pour être efficaces, ces parafoudres doivent établir des dérivations dont la conductance

globale soit en rapport avec celle du réseau à protéger, par exemple de 5 à 10 pour 100 de cette conductance.

» On serait donc logiquement conduit à les multiplier beaucoup quand il s'agit de protéger un réseau de grande puissance.

» D'autre part, le réglage de ces appareils est assez délicat; s'ils sont réglés trop au voisinage de la tension de régime, ils sont susceptibles de s'amorcer intempestivement et de donner lieu à des arcs persistants pouvant occasionner des accidents. En effet, la tension d'amorçage est assez variable: elle dépend de l'état des surfaces entre lesquelles éclate l'étincelle, du degré d'isolement des supports, peut-être aussi de la forme de la courbe de tension et d'autres circonstances plus ou moins mystérieuses.

» On est donc conduit, pour éviter toutes chances d'accidents, à se donner une assez forte marge pour leur réglage, et ce, au détriment de leur efficacité.

» Aussi j'estime que mieux vaut ne pas trop compter sur ces dispositifs: une précaution beaucoup plus efficace, la seule pratique à mes yeux, consiste simplement à augmenter suffisamment le facteur de sécurité du matériel employé. Il en résultera évidemment une augmentation de prix; mais cette augmentation ne sera jamais prohibitive, bien loin de là, et un grand facteur de sécurité présente à tous points de vue de tels avantages que l'argent consacré à l'augmenter pourra toujours être considéré comme très bien placé.

» Ma conclusion sera donc la suivante :

» Parmi les oscillations propres provenant des changements de régime du réseau, celles dues aux phénomènes accidentels doivent seules être considérées comme présentant un danger véritable, néanmoins une bonne installation, consciencieusement établie dans toutes ses parties et ne comportant que du bon matériel, n'a, en général, pas plus à redouter les surtensions dues à ces oscillations que celles dues aux harmoniques. »

NOTE I.

Considérons un circuit comprenant :

1° Une force électromotrice

$$e = E \cos(\omega t + \varphi);$$

2° Une capacité C , une self-induction L et une résistance R en série;

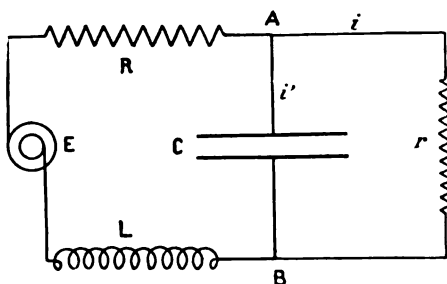


Fig. 2.

3° Une résistance r branchée entre les bornes de la capacité.

Soit U la différence de potentiel aux bornes AB de la capacité.

Nous aurons à chaque instant la relation

$$(1) \quad U = E \cos(\omega t + \varphi) - RI - L \frac{dI}{dt}.$$

Or, nous avons

$$I = i + i' = \frac{U}{r} + C \frac{dU}{dt}.$$

Par suite :

$$\frac{dI}{dt} = \frac{1}{r} \frac{dU}{dt} + C \frac{d^2 U}{dt^2},$$

$$RI = \frac{R}{r} U + RC \frac{dU}{dt}.$$

En portant dans l'équation (1), il viendra

$$(2) \quad LC \frac{d^2 U}{dt^2} + \left(RC + \frac{L}{r} \right) \frac{dU}{dt} + \frac{R+r}{r} U - E \cos(\omega t + \varphi) = 0,$$

qui peut s'écrire

$$(2)' \quad LC \frac{r}{R+r} \frac{d^2 U}{dt^2} + \left(RC + \frac{L}{r} \right) \frac{r}{R+r} \frac{dU}{dt} + U - E \frac{r}{R+r} \cos(\omega t + \varphi) = 0,$$

équation qui est de la forme

$$(3) \quad a \frac{d^2 U}{dt^2} + b \frac{dU}{dt} + U - E_1 \cos(\omega t + \varphi) = 0,$$

en posant

$$a = LC \frac{r}{R+r},$$

$$b = \left(RC + \frac{L}{r} \right) \frac{r}{R+r},$$

$$E_1 = E \frac{r}{R+r}.$$

Pour intégrer cette équation différentielle, posons :

$$(4) \quad U = U_1 + A \cos(\omega t + \varphi + \sigma),$$

U_1 étant une certaine fonction de t , déterminée par cette relation.

Nous en déduirons :

$$(5) \quad \begin{cases} \frac{dU}{dt} = \frac{dU_1}{dt} - A\omega \sin(\omega t + \varphi + \sigma), \\ \frac{d^2 U}{dt^2} = \frac{d^2 U_1}{dt^2} - A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi + \sigma). \end{cases}$$

Par suite, on aura

$$\begin{aligned} a \frac{d^2 U}{dt^2} + b \frac{dU}{dt} + U &= E_1 \cos(\omega t + \varphi) \\ &= a \frac{d^2 U_1}{dt^2} + b \frac{dU_1}{dt} + U_1 \\ &\quad - [E_1 \cos(\omega t + \varphi) + A(a\omega^2 - 1) \cos(\omega t + \varphi + \sigma) + Ab\omega \sin(\omega t + \varphi + \sigma)]. \end{aligned}$$

La somme des termes indépendants de U_1 pourra s'écrire

$$\cos(\omega t + \varphi + \sigma) [E_1 \cos \sigma + A(a\omega^2 - 1)] + \sin(\omega t + \varphi + \sigma) (E_1 \sin \sigma + Ab\omega).$$

Nous pouvons choisir A et σ de telle façon que cette expression soit identiquement nulle quel que soit t .

Il faudra, pour cela, avoir

$$\begin{aligned} Ab\omega &= -E_1 \sin \sigma, \\ A(a\omega^2 - 1) &= -E_1 \cos \sigma, \end{aligned}$$

d'où l'on tire

$$(6) \quad \tan \sigma = \frac{b\omega}{a\omega^2 - 1}$$

et

$$(7) \quad A = - \frac{E_1}{\sqrt{b^2 \omega^2 + (a\omega^2 - 1)^2}}.$$

En remplaçant dans l'expression de U , il viendra

$$(8) \quad U = U_1 - \frac{E_1}{\sqrt{b^2 \omega^2 + (a\omega^2 - 1)^2}} \cos(\omega t + \varphi + \sigma),$$

U_1 étant une fonction définie par la relation

$$(9) \quad a \frac{d^2 U_1}{dt^2} + b \frac{dU_1}{dt} + U_1 = 0.$$

L'intégration de cette équation différentielle, qui se rencontre dans l'étude de tous les phénomènes oscillatoires mécaniques ou électriques, est bien connue.

Quand on a $b^2 > 4a$, l'intégrale générale est de la forme

$$(10) \quad U_1 = e^{-\frac{b}{2a}t} E_1 \cos\left(\beta + t \frac{\sqrt{4a - b^2}}{2a}\right).$$

C'est l'équation d'un mouvement oscillatoire amorti.

On aura donc, d'une manière générale, pour U :

$$(11) \quad U = e^{-\frac{b}{2a}t} B_1 \cos\left(\beta + t \frac{\sqrt{4a - b^2}}{2a}\right) - \frac{E_1}{\sqrt{b^2 \omega^2 + (a\omega^2 - 1)^2}} \cos(\omega t + \varphi + \sigma).$$

Oscillations forcées. — La première partie se rapporte au régime variable; elle diminue très rapidement avec le temps, de telle sorte qu'une fois le régime établi, on a

$$(12) \quad U' = - \frac{E_1}{\sqrt{b^2 \omega^2 + (a \omega^2 - 1)^2}} \cos(\omega t + \varphi + \sigma).$$

La résonance a lieu pour

$$a \omega^2 - 1 = 0,$$

ou bien, en remplaçant a par sa valeur, pour

$$LC \omega^2 \frac{R+r}{r} - 1 = 0.$$

Quand r est infini, cette équation prend la forme bien connue

$$LC \omega^2 = 1.$$

En réalité, R est toujours assez petit par rapport à r , même à pleine charge, de telle sorte que les valeurs de ω donnant lieu à résonance varient peu avec l'importance de la charge.

Il n'en est pas de même de la tension U' au moment de la résonance.

En effet, on a en valeur absolue

$$(13) \quad U' = \frac{E_1}{b \omega} = \frac{E}{\omega \left(RC + \frac{L}{r} \right)},$$

qui peut aussi s'écrire

$$(13)' \quad U' = E \frac{L \omega}{R \frac{r}{R+r} + \frac{\omega^2 L^2}{r}}$$

ou bien, en négligeant R devant r ,

$$(13)'' \quad U' = E \frac{L \omega}{R + \frac{\omega^2 L^2}{r}}.$$

Quand $r = \infty$, on a

$$(14) \quad U'_1 = \frac{EL \omega}{R}.$$

D'où,

$$(15) \quad \frac{U'}{U'_1} = \frac{R}{R + \frac{\omega^2 L^2}{r}}.$$

La présence de la charge caractérisée par la résistance r diminue donc très considérablement la tension de résonance U' .

Oscillations propres. — En régime variable, on a la relation générale (11):

$$U = e^{-\frac{b}{2a}t} B_1 \cos\left(\beta + \frac{t \sqrt{4a - b^2}}{2a}\right) - \frac{E_1}{\sqrt{b^2 \omega^2 + (a \omega^2 - 1)^2}} \cos(\omega t + \varphi + \sigma),$$

où les termes B_1 et β sont des constantes dépendant des conditions initiales.

D'autre part, on a, pour déterminer l'intensité du courant, l'égalité

$$I = i + C \frac{dU}{dt}.$$

Or,

$$(16) \quad \left\{ \begin{aligned} C \frac{dU}{dt} &= - \frac{B_1 C}{\sqrt{a}} e^{-\frac{b}{2a}t} \cos\left(\mu + \beta + \frac{t\sqrt{4a-b^2}}{2a}\right) \\ &+ \frac{E_1 C \omega}{\sqrt{b^2\omega^2 + (a\omega^2 - 1)^2}} \sin(\omega t + \varphi + \sigma), \end{aligned} \right.$$

où μ est défini par

$$(17) \quad \tan \mu = - \frac{\sqrt{4a-b^2}}{b}.$$

Étudions l'oscillation produite par la fermeture du circuit à vide.

Supposons le circuit fermé au moment où la force électromotrice est maxima, c'est-à-dire, supposons que l'on ait pour $t = 0$,

$$\varphi = 0.$$

On a aussi, au moment $t = 0$,

$$U = 0, \quad I = 0.$$

On en déduit,

$$(18) \quad 0 = B_1 \cos \beta - \frac{E_1 \cos \sigma}{\sqrt{b^2\omega^2 + (a\omega^2 - 1)^2}}.$$

$$(19) \quad 0 = - \frac{B_1 C}{\sqrt{a}} \cos(\mu + \beta) + E_1 \sin \sigma \frac{C \omega}{\sqrt{b^2\omega^2 + (a\omega^2 - 1)^2}},$$

$$\tan \mu = - \frac{\sqrt{4a-b^2}}{b} = - \sqrt{\frac{4L}{R^2 C} - 1},$$

$\tan \mu$ est très grand, et l'on peut, sans erreur sensible, supposer

$$\mu = \frac{\pi}{2}.$$

La dernière égalité devient alors

$$(19)' \quad 0 = \frac{B_1 C}{\sqrt{a}} \sin \beta + E_1 \sin \sigma \frac{C \omega}{\sqrt{b^2\omega^2 + (a\omega^2 - 1)^2}}.$$

En remplaçant a et b par leurs valeurs, on obtient finalement, en résolvant (18) et (19)',

$$(20) \quad B_1 = \frac{E_1}{\sqrt{R^2 C^2 \omega^2 + (LC \omega^2 - 1)^2}} \times \sqrt{1 + \frac{R^2 C^2 \omega^2 (LC \omega^2 - 1)}{R^2 C^2 \omega^2 + (LC \omega^2 - 1)^2}},$$

expression qui est très voisine de

$$(20)' \quad B_1 = \frac{E_1}{\sqrt{R^2 C^2 \omega^2 + (LC \omega^2 - 1)^2}}.$$

L'amplitude de l'oscillation est donc, à très peu près, égale à celle de la force électromotrice principale : il en résulte que la tension aux bornes de la capacité peut être à peu près doublée, comme l'ont montré MM. Picou et Brylinski.

Étudions maintenant l'oscillation produite par l'ouverture du circuit.

Supposons que le courant rompu soit entièrement watté et que la rupture ait lieu au moment où il passe par son maximum.

On a, dans ces conditions, pour $t = 0$,

$$\varphi + \tau = 0.$$

On en déduit

$$B_1 \cos \beta = 0,$$

d'où

$$\beta = \frac{\pi}{2}.$$

Soit i_0 la valeur du courant rompu.

On a, au temps $t = 0$,

$$I - i = i_0 = \frac{B_1 C}{\sqrt{a}} \sin \mu,$$

d'où l'on tire

$$(21) \quad B_1 = i_0 \frac{\sqrt{a}}{C \sin \mu},$$

et comme μ est très voisin de $\frac{\pi}{2}$,

$$(21)' \quad B_1 = i_0 \frac{\sqrt{a}}{C}.$$

En remplaçant a par sa valeur, il vient

$$(21)'' \quad B_1 = i_0 \sqrt{\frac{L}{C}} \sqrt{\frac{r}{R+r}}.$$

L'amplitude de l'oscillation ne dépend pas beaucoup de la valeur de r et elle a très sensiblement pour valeur

$$(22) \quad B_1 = i_0 \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Elle varie surtout suivant l'importance du courant coupé.

Faisons une application numérique :

Soit

$$E \omega I_0 = 0,3 E_0,$$

$$C \omega E_0 = 0,05 I_0,$$

$$i_0 = 0,5 I_0.$$

Il en résultera

$$B_1 = 1,22 E_0.$$

Si l'on avait $i_0 = I_0$ il en résulterait

$$B_1 = 2,45 E_0.$$

Pour des valeurs plus faibles de la capacité C , on pourrait avoir des valeurs encore beaucoup plus grandes pour l'amplitude B_1 .

Durée de l'oscillation et amortissement. — Quel que soit le changement de régime qui donne lieu à l'oscillation, la fréquence de celle-ci est toujours donnée par la relation

$$\frac{\sqrt{4a - b^2}}{2a} = \frac{2\pi}{\tau_0},$$

d'où

$$\tau_0 = \frac{4\pi a}{\sqrt{4a - b^2}}.$$

Si nous remplaçons a et b par leurs valeurs, il viendra

$$(23)' \quad \tau_0 = 2\pi \frac{\sqrt{LC \frac{r}{R+r}}}{\sqrt{1 - \frac{r}{R+r} \frac{\left(RC + \frac{L}{r}\right)^2}{4LC}}}.$$

Cette expression varie très peu avec r et a pour valeur très approchée

$$(24) \quad \tau_0 = 2\pi \sqrt{LC}.$$

Quant au terme d'amortissement, il a pour valeur

$$(25) \quad e^{-\frac{b}{2a}t} = e^{-\left(\frac{R}{2L} + \frac{L}{rC}\right)t}.$$

Il est très sensiblement influencé par la présence de la charge correspondant à la résistance r ⁽¹⁾.

M. BRYLINSKI. — « I. M. de Marchena vient d'émettre l'avis que les élévations de tension du régime forcé ne sauraient dépasser 40 pour 100 environ. Quelque ingénieuse que soit sa démonstration, elle soulève néanmoins certaines objections.

» D'abord M. de Marchena n'envisage qu'un harmonique à côté de la période fondamentale. Si nous supposons que la machine possède les harmoniques 11, 12 et 13 et que le 12^e entre en résonance, les facteurs de surtension du 11^e et du 13^e seront

$$h_{11} = \frac{1}{1 - \frac{121}{144}} = \frac{144}{23} = 6,2,$$

$$h_{13} = \frac{1}{1 - \frac{169}{144}} = \frac{144}{25} = 5,76,$$

c'est-à-dire que, si le 11^e et le 13^e ne sont pas trop décalés l'un par rapport à l'autre et que leur amplitude à vide soit 5 pour 100 de celle de la période fondamentale, ils constitueront ensemble une surtension de 60 pour 100 qui viendra s'ajouter à celle que produit la résonance du 12^e harmonique. Si ce dernier donne aussi 60 pour 100,

(1) Voir Note II, p. 446.

la tension efficace aux appareils électrostatiques sera approximativement

$$\sqrt{1 + 0,09 + 0,09 + 0,36} = 1,24.$$

» Pour maintenir la tension efficace constante, il faudrait donc ramener la tension maxima à

$$\frac{1 + 0,6 + 0,6}{1,24} = 1,77$$

et la majoration de tension serait de 77 pour 100 et non de 41 pour 100 au maximum.

» Mais on n'emploie plus d'appareils à lecture directe et l'on n'utilise plus aujourd'hui que les voltmètres sur transformateurs. Or, si ces transformateurs sont construits pour donner correctement les indications relatives à la fréquence normale, il peut n'en pas être de même pour les fréquences beaucoup plus élevées des harmoniques supérieurs.

» L'harmonique n de tension réelle E_n , et supposé seul, ne donnera plus au voltmètre, par l'intermédiaire du transformateur interposé, qu'une tension $\epsilon_n E_n$, ϵ_n étant probablement plus petit que 1 dès que n devient un peu grand.

» Si l'on admet un coefficient moyen ϵ pour les harmoniques 11, 12 et 13 dans l'exemple ci-dessus, la tension efficace sera

$$\sqrt{1 + 0,54\epsilon^2} = 1 + 0,27\epsilon^2$$

et il suffira que ϵ devienne inférieur à $\frac{1}{2}$ pour que l'altération de la tension efficace n'atteigne plus que quelques centièmes et soit, par conséquent, de peu d'influence sur la surtension et même sur l'excitation. C'est là qu'il faut chercher, à ce qu'il me semble, la véritable explication de ce fait, signalé par M. de Marchena, que, même dans les cas de résonance, on n'a pas à modifier sensiblement l'excitation pour maintenir la tension efficace constante.

» Il faut remarquer, de plus, que cette théorie ne s'applique qu'aux appareils thermiques. Si l'on emploie des voltmètres à champ tournant ou des voltmètres électromagnétiques, les indications de ces appareils dépendent de la fréquence, d'une manière en général peu connue, et l'on ne peut plus guère prévoir quelle sera l'influence des harmoniques.

» Je puis citer un exemple tout récent et particulièrement certain, parce qu'il a comporté l'action d'un seul alternateur relié à un réseau complètement débarrassé de tous ses récepteurs, et sur lequel il ne pouvait y avoir, par conséquent, ni manœuvres, ni charge, ni influences étrangères à celles du groupe : *machine-réseau*. Cet exemple est celui dont a parlé M. Picou à la dernière séance. Dans ce cas, la majoration de tension a certainement dépassé 90 pour 100.

» Enfin, le réglage même de la tension, lorsqu'on passe d'un état de résonance du réseau à un autre, demande toujours un temps matériel appréciable. Il peut se produire à ce moment une élévation passagère de tension, qui pourra même être assez courte pour ne pas influencer le voltmètre, et cependant assez longue pour causer un accident.

» Il m'a paru indispensable de bien montrer que le fait de distribuer à tension constante ne garantissait pas automatiquement les exploitants contre des surtensions dangereuses en régime normal.

» M. de Marchena a examiné ensuite l'effet de la répartition de la capacité sur les lignes, et je crains que son exposé ne soit un peu concis dans son élégance. Reportons-nous à la formule de la tension, en négligeant les résistances :

$$U = \frac{E \sin \omega t}{\cos b - \frac{bL'}{L} \sin b} \cos b \left(1 - \frac{x}{l}\right)$$

qu'on peut écrire, en prenant comme M. de Marchena l'origine des abscisses à l'extrémité de la ligne,

$$U = \frac{\cos b \frac{x}{l}}{\cos b - \frac{bL'}{L} \sin b} E \sin \omega t.$$

» De cette formule découlent immédiatement deux sources de surtension tout à fait différentes.

» En un point quelconque, où x a une valeur déterminée, la tension devient infinie chaque fois que

$$\cot nb = \frac{nbL'}{L}.$$

» C'est là le phénomène de résonance et c'est de là qu'il résulte

que toute ligne, n'aurait-elle que 1 m de longueur, possède, non pas *un* harmonique résonnant, mais *une infinité*. C'est ce point que j'avais développé à la dernière séance. La seule différence entre les lignes courtes et les lignes longues réside dans l'intervalle qui sépare les harmoniques successifs, et qui fait que, dans les lignes courtes, le second harmonique est déjà d'un ordre tellement élevé qu'il ne peut plus donner lieu à aucun phénomène sensible.

» J'ai montré dans la dernière séance que, bien loin qu'il faille plus de 900 km de ligne aérienne pour donner lieu à ces phénomènes, une simple ligne de 148 km, d'usage courant, donnait 2 à 3 harmoniques d'ordre suffisamment bas pour pouvoir être considérés, et qu'une ligne de 900 km en donnerait plus de 5.

» Si l'on pose, pour simplifier les calculs,

$$\frac{nbL'}{L} = \tan g_n,$$

on aura

$$U_n = \frac{\cos g_n \cos \frac{bx}{l}}{\cos(nb + g_n)} E_n \sin n\omega t$$

et la formule de résonance sera donnée par

$$\cos(nb + g_n) = 0;$$

soit

$$nb + g_n = \left(2K + 1\right) \frac{\pi}{2},$$

où K est un nombre entier quelconque et g_n une quelconque des valeurs que donne son équation de définition, par exemple la plus petite valeur positive.

» Dans le cas particulier où g_n est assez petit pour qu'on puisse le confondre avec sa tangente, on aura simplement

$$nb \left(1 + \frac{L'}{L}\right) = (2K + 1) \frac{\pi}{2}.$$

» Mais il est inutile pour le moment de s'appesantir davantage sur cette question de résonance; revenons au point de vue développé par M. de Marchena.

» Si nous avons un alternateur de courbe parfaitement sinusoïdale, par conséquent sans résonance possible, le dénominateur aura une valeur bien déterminée qui ne sera pas nulle, et la tension

au départ U_d sera reliée à la tension à l'arrivée U_a par la relation simple

$$\frac{U_a}{U_d} = \frac{1}{\cos b},$$

de sorte que chaque fois que b sera un multiple impair de $\frac{\pi}{2}$ la tension à l'arrivée croîtra indéfiniment. Mais c'est là un simple phénomène de *propagation* qui n'a rien à faire avec la *résonance* proprement dite.

» La ligne aérienne la plus courte donnant lieu à ce phénomène sera celle vibrant en quart d'onde, pour laquelle

$$b = \frac{\pi}{2}.$$

» Or

$$b = 2\pi N\sqrt{CL} = \frac{2\pi Nl}{300000}.$$

» Donc, il faudra que

$$l = \frac{75000}{N},$$

ce qui représente des longueurs respectives de

$$\begin{array}{ccccc} 3000 \text{ km pour } 25 \text{ périodes par seconde,} \\ 750 & \text{—} & 100 & \text{—} & \end{array}$$

» Il y a donc, comme le dit M. de Marchena, peu d'inconvénients à craindre de ce fait dans les conditions actuelles, et même prochaines, tant qu'on se restreint à la période fondamentale.

» Mais la question change si la courbe de l'alternateur contient des harmoniques. La formule de la tension de l'harmonique n sera en effet

$$\left(\frac{U_a}{U_d}\right)_n = \frac{1}{\cos nb},$$

de sorte que toutes les longueurs ci-dessus sont à diviser par n . Si l'on a par exemple affaire au 13^e harmonique, la tension de l'harmonique croîtra indéfiniment à l'arrivée pour des longueurs de ligne de

$$\begin{array}{ccccc} 231 \text{ km pour } 25 \text{ périodes par seconde,} \\ 115 & \text{—} & 50 & \text{—} & \end{array}$$

» Nous arrivons dans des longueurs tout à fait usuelles.

» Il convient de remarquer que, pour ce phénomène, les harmo-

riques se comportent d'une façon toute différente de l'onde fondamentale. Pour la période fondamentale, on établit au départ une tension U_0 déterminée et l'on aura, par conséquent, une valeur de la tension maxima égale à

$$\frac{U_0}{\cos b}$$

qui pourra croître beaucoup. Il ne sera d'ailleurs pas nécessaire que cette augmentation soit *très considérable* pour devenir gênante et même dangereuse.

» Supposons, au contraire, que la ligne vibre un quart d'onde pour le $n^{\text{ième}}$ harmonique; la tension fondamentale sera sensiblement normale; par conséquent, la force électromotrice E_n de l'harmonique le sera aussi.

» Or la tension maxima de l'harmonique sera donnée par la formule

$$\frac{E_n \sin n\omega t}{\cos nb - \frac{nbL'}{L} \sin nb}$$

et aura pour valeur absolue

$$\frac{LE_n}{nbL'} = \frac{2}{\pi} \frac{L}{L'} E_n.$$

» L'augmentation de tension de l'harmonique dépendra donc essentiellement des valeurs relatives des inductances de la ligne et de l'alternateur et il arrivera souvent que l'harmonique soit atténué et non pas amplifié. C'est là un résultat intéressant que le schéma simplifié du condensateur ne pouvait donner.

» Ces phénomènes dépendent étroitement du courant de charge de la ligne et mériteraient une étude plus approfondie, mais qui sortirait du cadre de cette Communication.

» M. de Marchena n'ayant pas donné le détail des calculs au moyen desquels il a tenu compte de la résistance répartie de la ligne, il m'est impossible de discuter ses résultats. Je me bornerai donc à quelques remarques.

» Dans les lignes aériennes, M. de Marchena remarque que la résistance est de même ordre que la réactance. Prenons quelques chiffres. Pour une artère importante, on ne descendra guère au-dessous d'une section de 30 mm² dont la résistance kilométrique est de 0,55 ω environ. La self-inductance étant de l'ordre de 0,0015 henry

à 0,003 henry, si l'on admet une fréquence de 50 périodes par seconde, la réactance kilométrique sera de l'ordre de 0,9 ω par circuit, soit 0,45 ω en établissant l'équation par conducteur.

» La résistance sera de l'ordre de la réactance, et deviendra notablement plus petite qu'elle pour les harmoniques. Pour l'harmonique 13 par exemple, la résistance ne serait plus que le $\frac{1}{10}$ de la réactance et par conséquent d'effet négligeable. Il est donc à prévoir que, surtout en ce qui concerne les harmoniques, l'introduction de la résistance n'apportera pas de modifications très importantes aux résultats généraux que je viens d'énoncer.

» Si nous passons aux câbles armés, M. de Marchena est d'avis que la self-inductance en est tellement plus faible que celle des lignes aériennes qu'elle est absolument négligeable devant la résistance et que cela compense l'augmentation de la capacité.

» Je ne crois pas, et j'ai dit à la dernière séance pour quels motifs, que la self-inductance des câbles armés soit *considérablement* plus petite ⁽¹⁾ que celle des lignes aériennes. Il me paraît en tout cas certain que, s'il y a une diminution de la self-inductance quand on passe des lignes aériennes aux câbles, elle est très loin de compenser l'augmentation considérable de la capacité, qui est de l'ordre de 20 à 40. La valeur de b sera donc, à longueur égale, de l'ordre de 5 fois (pour prendre un chiffre moyen très approximatif) celle des lignes aériennes, et l'harmonique 13 pourra donner lieu à des surtensions, sans qu'il y ait résonance proprement dite, déjà pour des câbles de l'ordre de 20 km à 25 km.

» Cette conséquence n'est d'ailleurs pas de l'ordre de l'hypothèse, car il y a bien des années déjà qu'une installation anglaise, restée célèbre, a fait constater expérimentalement pour la première fois le phénomène de la surtension à l'arrivée, phénomène qui n'était prévu à ce moment-là comme possible que par un petit nombre de savants et qui a causé une surprise profonde autant que générale.

(1) Il est bien certain que les câbles armés ne peuvent avoir une self-inductance aussi élevée que les câbles téléphoniques essayés en Danemark, dont j'ai parlé à la dernière séance, et où il semble qu'on ait placé du fer directement sur le cuivre. Aussi bien est-on arrivé à monter la self-inductance au-dessus de $\frac{1}{100}$ de henry, et je me suis tenu dans mes évaluations approximatives largement au-dessous de ce chiffre.

» Le travail de M. de Marchena m'amène à dire un mot sur la définition même de la résonance.

» M. de Marchena, comme M. Picou, admet qu'il y a résonance lorsque

$$\omega^2 CL = 1,$$

en reprenant le cas simple de l'alternateur aux bornes d'un condensateur.

» Or, si l'on détermine le maximum de la formule

$$U = \frac{E}{\sqrt{(1 - \omega^2 CL)^2 + C^2 R^2 \omega^2}},$$

on trouve qu'il a lieu pour

$$\omega_{\max} = \frac{1}{\sqrt{CL}} \sqrt{1 - \frac{CR^2}{2L}}$$

et prend la valeur

$$U_{\max} = \frac{E}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{CR^2}{4L}}},$$

valeur qui, dès que les résistances ne sont plus négligeables, devient sensiblement supérieure à celle que donne la formule ordinaire

$$U'_{\max} = \frac{E}{CR\omega'_{\max}} = \frac{E}{R} \sqrt{\frac{L}{C}},$$

et peut devenir égale à $U'_{\max} \sqrt{2}$.

» Il est bien vrai que le terme $\frac{CR^2}{4L}$ est négligeable, pour l'onde fondamentale, tant qu'il n'y a que les génératrices en jeu; mais M. de Marchena, d'accord avec MM. Potier et Boucherot, admet qu'il peut n'en pas être de même pour les harmoniques supérieurs, où l'influence des courants de Foucault devient prépondérante. L'introduction de transformateurs peut également donner à ce terme une influence appréciable.

» La période résonante est définie dans ce cas, comme me l'a fait remarquer M. Potier, par la formule

$$\omega^2 = \beta^2 - \alpha^2,$$

où β est la période d'oscillation propre et α l'amortissement.

» La notion de résonance perd dans cette manière de voir un peu de sa simplicité, mais gagne en précision.

» II. En ce qui concerne les pertes dans les armures des câbles, les essais rappelés par M. Potier n'ont eu rapport qu'à des câbles à un seul conducteur, avec retour à l'extérieur, câbles où le champ magnétique qui traverse l'armure est important, tandis que je n'ai envisagé, de mon côté, que les câbles, à peu près seuls employés actuellement, où la somme algébrique des intensités qui traversent une section droite de l'ensemble des conducteurs est nulle.

» Il est bon cependant de remarquer que cette disposition, qui réduit beaucoup l'importance et surtout l'extension du champ magnétique qui enveloppe le groupe des conducteurs, ne l'annule pas complètement, car si

$$\sum I = 0,$$

il en résulte évidemment que $\sum \frac{I}{r}$ ne sera pas nul en général, r variant d'un conducteur à l'autre.

» Il subsistera donc dans la chemise de plomb et dans l'armure de fer un champ magnétique appréciable, qui produira des pertes par courants de Foucault et par hystérésis.

» Ces pertes seront beaucoup plus petites que celles qui ont été constatées dans les essais rappelés par M. Potier, mais il n'est pas impossible que dans certains cas il faille en tenir compte, et notamment qu'elles aient une influence très appréciable dans l'amortissement des harmoniques, conformément aux idées qu'a développées sur ce point M. Boucherot à la dernière séance.

» III. En ce qui concerne la capacité des conducteurs, la très brève exposition que j'avais faite à la dernière séance demande quelques développements. J'avais fait une réserve sur le calcul des capacités de conducteurs dans les câbles à plusieurs conducteurs: au fond, cette réserve se dédoublait en deux bien distinctes.

» L'une porte sur la *dénomination* même de *capacité* et subsiste intégralement. Lorsqu'il y a plusieurs conducteurs en présence, le mot *capacité d'un conducteur* n'a en général plus de sens, et chaque conducteur n'a une capacité définie que dans des cas particuliers.

» Mais cette absence de signification du mot *capacité* n'entraîne aucun inconvénient, car l'élément intéressant est la charge que prend chaque conducteur sous l'influence de la répartition des

potentiels. C'est ici qu'intervient la seconde réserve que j'avais formulée et qui s'étendait à l'applicabilité du principe de la superposition des équilibres électrostatiques. Je craignais que l'application de ce principe au cas qui nous occupe ne fût pas rigoureuse; M. Potier a bien voulu prendre la peine de lever mes scrupules sur ce point.

» La question dès lors devient très simple, et bien qu'elle soit connue et qu'elle ait fait notamment il y a quelques années l'objet d'une fort intéressante étude de M. Ch. Eug. Guye, je vous demanderai la permission d'en dire deux mots, en vous renvoyant au travail de M. Guye pour plus de détails.

» Si l'on considère un nombre quelconque de conducteurs enfermés dans une enveloppe conductrice et qu'on mesure les potentiels par rapport à cette enveloppe, la charge de chaque conducteur sera une fonction linéaire des potentiels.

» La restriction relative à l'enveloppe extérieure se lève immédiatement en considérant que les conducteurs sont toujours en présence de la terre, qui peut être assimilée à une enveloppe de rayon de courbure infini. S'il y a n conducteurs, la solution complète du problème dépend de la détermination, par le calcul ou par l'expérience, de $\frac{n(n+1)}{2}$ paramètres.

» Du moment que les charges s'expriment en fonction linéaire des potentiels, elles s'exprimeront également bien en fonction linéaire des différences de potentiel deux à deux. Par conséquent le schéma de M. Picou est la traduction fidèle des équations générales.

» Remarquons en passant que si le système triphasé était à 4 conducteurs, dont un fil neutre maintenu au potentiel de l'enveloppe, les équations subsisteraient sans changement; seules les valeurs numériques des paramètres pourraient subir des modifications.

» Si le système triphasé est symétrique, de grandes simplifications surgissent; on voit, en effet, immédiatement qu'on peut écrire :

$$Q_1 = \gamma U_1 - \gamma' (U_2 + U_3) = (\gamma + \gamma') U_1,$$

$$Q_2 = \gamma U_2 - \gamma' (U_1 + U_3) = (\gamma + \gamma') U_2,$$

$$Q_3 = \gamma U_3 - \gamma' (U_1 + U_2) = (\gamma + \gamma') U_3.$$

Ainsi, dans ce cas, chaque conducteur a une capacité bien définie.

Il convient d'ailleurs de remarquer que les paramètres γ variant très lentement avec la distance, cette conclusion s'étend avec une approximation suffisante aux circuits triphasés aériens qui ne sont pas parfaitement symétriques.

» Cette capacité, qui est celle qui entre dans les équations de propagation, est d'ailleurs facile à obtenir par une seule mesure.

» Prenons une pile de force électromotrice E , dont le pôle négatif est à un potentiel quelconque U , et relions le conducteur 1 au pôle positif de la pile, le conducteur 2 au pôle négatif et le conducteur 3 à l'enveloppe. Les charges que prendront les deux premiers conducteurs seront

$$\begin{aligned} Q_1 &= \gamma U_1 - \gamma' U_2 = \gamma E + (\gamma - \gamma') U, \\ Q_2 &= -\gamma' U_1 + \gamma U_2 = -\gamma' E + (\gamma - \gamma') U. \end{aligned}$$

Séparons la pile des conducteurs 1 et 2 en ouvrant un interrupteur double; rien n'est changé à l'état des conducteurs. Réunissons maintenant ces deux conducteurs à travers un galvanomètre balistique : ils prendront un potentiel commun et une charge commune, moyenne arithmétique des charges Q_1 et Q_2 ; la variation de charge qui a traversé le balistique et que nous avons mesurée est donc

$$Q_1 - \frac{Q_1 + Q_2}{2} = \frac{Q_1 - Q_2}{2} = \frac{\gamma + \gamma'}{2} E.$$

» La capacité effective de chacun des conducteurs du circuit triphasé est donc égale au double de la capacité entre deux conducteurs mesurée au moyen d'une pile, mesure d'usage courant.

» Il est également d'usage courant de mesurer la capacité d'un conducteur par rapport à l'enveloppe, les autres conducteurs étant soit reliés à l'enveloppe, soit isolés. Dans le premier cas leurs potentiels sont nuls, dans le second cas leurs potentiels sont inconnus, mais leurs charges totales sont nulles. Les équations sont donc déterminées et l'on en déduit les résultats suivants, pour la capacité d'un conducteur par rapport à l'enveloppe :

- 1° Les deux autres à l'enveloppe..... $C = \gamma$
- 2° Un à l'enveloppe et l'autre isolé..... $C' = \frac{\gamma^2 - \gamma'^2}{\gamma}$
- 3° Les deux autres isolés..... $C'' = (\gamma + \gamma') \left[1 - \frac{\gamma'}{\gamma - \gamma'} \right]$

» Il est intéressant de donner au hasard une vérification expéri-

mentale de ces formules. Des essais faits il y a plusieurs années sur un câble triphasé ont donné, en microfarads :

$$C = 0,685,$$

$$C' = 0,670,$$

$$C'' = 0,657.$$

$$\text{Capacité entre deux conducteurs} = 0,389.$$

» On déduit de la première et de la quatrième valeur

$$\gamma = 0,685,$$

$$\frac{\gamma + \gamma'}{2} = 0,389,$$

d'où

$$\gamma' = 0,093.$$

» En reportant ces valeurs dans les formules de C' et C'' on trouve pour les valeurs calculées

$$C' = 0,673, \quad \text{au lieu de} \quad 0,670 \text{ mesuré,}$$

$$C'' = 0,656, \quad \text{au lieu de} \quad 0,657 \text{ mesuré.}$$

Cette concordance paraît très satisfaisante.

» IV. Nous en arrivons maintenant à l'importante question de l'hystérésis dans les transformateurs.

» J'ai, dans la dernière séance, donné le calcul de l'effet des transformateurs dans le régime permanent, en tenant compte de la dispersion et en laissant de côté l'hystérésis, que j'étais embarrassé pour faire entrer dans les équations.

» Bien que ces calculs aient été assez pénibles, et qu'ils doivent sans doute être de peu d'utilité puisque l'effet de l'hystérésis paraît prépondérant, je me félicite de les avoir présentés puisqu'ils ont engagé M. Potier à rédiger sa Note, dont l'intérêt est si puissant.

» Sans insister sur les détails de cette Note, dont M. Potier a laissé entrevoir qu'il développerait certains points à une autre occasion, je désire cependant en dire quelques mots.

» Si l'on se reporte au Tableau qui donne la période d'oscillation propre, les alternateurs étant reliés, on voit que cette période part à vide d'une durée égale à environ $\frac{1}{7,9}$ de l'oscillation forcée, soit

sensiblement ce que donne la formule ordinaire sans transformateur, pour croître ensuite constamment et rapidement jusqu'à ce que le régime soit purement amorti. La charge correspondant à 100 ohms, qui donnerait déjà le double de la période fondamentale, serait de 90 kilowatts seulement, c'est-à-dire bien au-dessous de la charge normale de l'alternateur.

» Il résulte de là que, dans le passage du vide à la pleine charge, tous les harmoniques de la machine, d'ordre inférieur au huitième dans l'exemple choisi, seraient susceptibles d'entrer successivement en résonance, et l'on pourrait se demander pourquoi il n'en résulte pas d'accidents.

» La réponse se trouve dans la formule du régime forcé, que donne M. Potier au paragraphe suivant. Il suffit de jeter un coup d'œil sur cette formule, et d'y appliquer les valeurs numériques, pour voir combien une charge, même faible, limite étroitement les augmentations de tension des divers harmoniques. On a remarqué, depuis qu'on fait des oscillogrammes, combien la charge adoucit et régularise la courbe de tension des machines, et l'on avait une tendance à attribuer, au moins en partie, ce phénomène à l'augmentation de dispersion résultant de l'augmentation d'excitation avec la charge. Il me semble que l'explication se trouve plus naturellement dans l'effet amortisseur de la charge qui résulte des formules de M. Potier.

» On remarquera que l'on peut aisément, en partant de la courbe d'hystérésis, développer la formule de l'intensité en série de Fourier et que M. Potier ne prend que le premier terme de cette série. Il en résulte que le cycle d'hystérésis prend dans cette approximation la forme d'une ellipse, et que l'écart entre cette ellipse et le cycle réel d'hystérésis peut donner une idée de l'erreur qu'entraîne cette simplification.

» M. Potier s'est borné au premier terme de la série, après avoir examiné un grand nombre de courbes relevées sur des transformateurs et constaté que, dans les limites entre lesquelles on restreint pratiquement l'induction dans les transformateurs, et par suite de l'influence des courants de Foucault, qu'on n'arrive jamais à supprimer, l'écart entre l'ellipse approximative et le cycle réel est vraiment très faible. Il pourrait cependant être intéressant de voir quel

résultat donnerait, au point de vue des résonances, l'emploi d'un plus grand nombre de termes de la série.

» J'espère que M. Potier voudra bien nous donner bientôt les nouveaux développements qu'il nous a laissé entrevoir dans sa Note.

» V. Dans une Note parue au dernier *Bulletin*, M. Blondel a proposé de renoncer à la considération des harmoniques de denture $2p - 1$ et $2p + 1$, et de considérer à leur place un harmonique $2p$, périodiquement affaibli par le passage des pôles.

» Il y a là plus qu'une question de forme. Il s'agit de savoir, en effet, si les conditions de réseau qui feraient résonner le 11^e et le 13^e harmonique sont dangereuses, ou si ce sont elles qui feraient résonner le 12^e harmonique. Et, étant donnée la raideur de la courbe représentative du facteur de surtension, les résultats de l'une ou l'autre de ces hypothèses seront très différents.

» Voici quelques résultats provenant de courbes relevées il y a plusieurs années, et qui n'ont plus qu'un intérêt historique, car les machines ont été modifiées de façon à réduire beaucoup l'amplitude des harmoniques.

» J'ai calculé le développement de ces courbes en série de Fourier et le Tableau ci-dessous donne les amplitudes des 11^e, 12^e et 13^e harmoniques par rapport à la période fondamentale :

1^o A vide;

2^o L'alternateur étant relié à un certain réseau, isolé absolument de tout appareil récepteur;

3^o Deux alternateurs identiques étant mis en parallèle sur le même réseau, ou à peu près (ce second réseau avait un peu plus de capacité que le premier).

» Je vous signale en passant ce 12^e harmonique, qui n'a pas d'existence légale, mais semble bien être très réel.

» Les courbes étaient relevées à l'oscillographe à travers un transformateur de mesure, qui a pu les déformer un peu, et photographiées.

» Les valeurs ci-dessous ne sont pas très rigoureuses. D'abord le papier photographique a pu jouer légèrement, et ne se prête pas aisément au mesurage des ordonnées.

» Puis la méthode est assez pénible comme calculs et permet

facilement des erreurs purement arithmétiques, qu'on n'arrive à corriger que par des revisions successives assez fastidieuses.

» Enfin, le trait oscillographique a une épaisseur assez grande et variable, qui est une grande cause d'incertitude, et, d'autre part, le millimètre est de l'ordre de 0,04 dans les chiffres ci-dessous, de sorte que des erreurs de 100 pour 100 seraient, *a priori*, possibles sur les valeurs à vide, et des erreurs considérables sur les autres valeurs.

» Afin de me rendre compte des écarts probables, j'ai calculé pour les différents cas le facteur de surtension h , puis la valeur de $\omega^2 CL$ pour un alternateur en service (en supposant le second identique au premier dans le deuxième cas), par la formule

$$n^2 \omega^2 CL = 1 - \frac{1}{h_1}$$

pour le premier cas, et

$$n^2 \omega^2 CL = 2 \left(1 - \frac{1}{h_2} \right)$$

dans le second cas, formule qui résulte de la définition même du facteur h , et enfin l'ordre de l'harmonique qui résonnerait d'après ces données, en supposant dans les deux cas un seul alternateur.

» Si l'on considère les difficultés signalées ci-dessus pour le développement en série de Fourier, on admettra sans doute que ces valeurs présentent une concordance très satisfaisante.

» Le Tableau ci-dessous donne les valeurs des harmoniques, des facteurs de surtension, et l'ordre de l'harmonique résonnant.

Harmonique.....	11.	12.	13.
A vide.....	0,059	0,026	0,045
1 alternateur sur le réseau...	0,232	0,106	0,296
Facteur h_1	3,93	4,08	6,58
$\omega^2 CL \times 10^4$	61	53	50
n_1 résonnant.....	12,8	13,7	14,1
2 alternateurs sur le réseau..	0,098	0,039	0,078
Facteur h_2	1,66	1,50	1,74
$\omega^2 CL \times 10^4$	66	46	51
$\frac{n_2}{\sqrt{2}}$ résonnant.....	12,3	14,7	14

» Il est visible que le 13^e harmonique, qui est inférieur de $\frac{1}{4}$ au 11^e à vide et tant qu'on est loin de ses conditions de résonance, lui

devient, au contraire, supérieur de $\frac{1}{4}$ lorsque les conditions arrivent à la résonance du 14^e harmonique environ, et il paraît bien probable que cette différence se serait encore accentuée si l'on avait légèrement augmenté la self-inductance ou la capacité. Les décalages se modifient aussi d'une façon différente.

» En somme, il me paraît résulter de cet exemple que les harmoniques $2p - 1$ et $2p + 1$ se modifient indépendamment l'un de l'autre avec les conditions de réseau et de machines, et qu'il est, par suite, impossible de les remplacer par un seul harmonique $2p$.

» VI. Pour terminer, il me paraît intéressant de revenir sur la conclusion du travail de M. Picou, à titre purement personnel, car la 4^e Section n'a pas pris jusqu'à présent position sur cette question.

» Se basant sur l'incertitude où nous sommes en ce qui concerne la grandeur des surtensions qui peuvent se produire, sur les surtensions considérables dont on a parfois constaté les effets et sur l'analogie avec la résistance des matériaux où l'on n'emploie les métaux qu'avec des coefficients importants de sécurité, M. Picou est d'avis qu'on doit exiger un coefficient de sécurité important pour l'essai des câbles. Il estime qu'on doit charger les câbles au moins au triple de la tension de service, et le quadruple ou le quintuple ne l'effraieraient pas.

» Or cela se paie. L'inconvénient n'est pas très grand pour les tensions d'ordre moyen; si l'on marche à 5000 volts par exemple, la différence de prix entre un câble essayé à 10000 et un câble essayé à 15000 volts n'est pas très importante, et peut être considérée comme plus que compensée par l'augmentation de sécurité qui résulte de l'emploi du câble le plus isolé.

» Mais les tensions de 5000 volts sont presque d'ordre historique pour les grands réseaux. Les premières grandes installations de l'Isère ont été faites dans les 12000 volts, si je ne m'abuse; celle de l'Aude à 20000 volts, les dernières installations de l'Isère à 26000 volts, tout ceci à quelques années d'intervalle, et il est déjà couramment question de 30000 volts. On peut donc entrevoir les transmissions à 35000 et 40000 volts comme des projets à étudier dans quelques années seulement.

» Il s'agit, il est vrai, de réseaux aériens pour le moment. Mais

déjà ces réseaux ont parfois besoin de petites sections de câbles pour franchir des passages difficiles. D'autre part, les difficultés d'établissement et le prix de revient des lignes aériennes augmentent beaucoup avec la tension dans les pays où, comme ici, les droits du propriétaire sont poussés à leurs extrêmes limites.

» Je ne crois donc pas que l'idée de constituer de longues artères de transmission à haute tension au moyen de câbles armés doive être *a priori* rejetée comme absurde. Encore la possibilité de la réaliser dépend-elle dans une large mesure des conditions d'essais qui seraient imposées aux câbles. Pour un câble de 25000 volts, il peut y avoir prochainement une réalisation pratique si l'on se borne à l'essayer à 50000 volts, alors qu'on reculerait énormément cette réalisation si l'on devait l'essayer à 100000 ou 120000 volts. Lorsque l'on songera à étudier un câble pour 40000 volts, on arrivera peut-être assez facilement à en réaliser un si l'on doit se borner à l'essayer à 60000 volts, tandis que, s'il fallait l'essayer à 150000 ou 200000 volts, on ne parviendrait plus même à concevoir la possibilité de le construire.

» Ainsi la question du coefficient de sécurité à adopter pour l'essai des câbles armés n'est pas seulement une question de précaution à prendre, c'est aussi, dans les hautes tensions, une question d'ordre financier qui peut en arriver à faire échouer un projet, et dans les très hautes tensions une question de possibilité ou d'impossibilité. Elle mérite donc d'être approfondie.

» Si nous nous reportons d'abord à la comparaison avec la mécanique, il y a lieu de remarquer que l'emploi des forts coefficients de sécurité se rapporte aux matériaux employés et non pas aux appareils terminés. Si l'on veut prendre une comparaison avec un câble armé, il faut la prendre dans un appareil achevé : une chaudière rivée, un pont prêt à la circulation. Jamais on n'essaiera, même à froid, une chaudière à une pression quadruple ou quintuple de la pression de service, et encore, si l'essai à froid comporte une surpression, *qui ne peut jamais dépasser 6 kg par centimètre carré*, cette surpression est-elle destinée à tenir compte des défaillances que l'effet de la chaleur et un long usage peuvent produire.

» Si nous voulons nous en tenir à cette comparaison, qui me paraît assez juste, avec la chaudière à vapeur, nous dirons qu'au-

dessus d'une certaine tension (20 000 volts par exemple) les câbles seront essayés à leur tension normale majorée d'une tension fixe (20 000 volts par exemple); ainsi, en s'en tenant aux chiffres tout à fait arbitraires que je viens de mentionner :

Les câbles pour 20 000 volts seraient essayés sous 40 000 volts.

—	30 000	—	50 000	—
—	40 000	—	60 000	—

» Il faudra évidemment pourvoir ces transmissions, comme on fait pour les chaudières, de soupapes de sûreté, mais c'est là une condition qui me paraît absolument essentielle pour des transmissions à longue distance, quel que soit le facteur de sécurité adopté, et que M. Picou a également signalée comme indispensable, à son avis.

» VII. Reprenons maintenant les motifs purement électriques de l'avis exprimé par M. Picou.

» Les causes de surtension peuvent se diviser en deux grandes classes : les causes permanentes et les causes passagères.

» Les causes permanentes rendraient tout service impossible; elles sont donc à supprimer complètement. Or la seule cause permanente qui m'apparaisse est la résonance des harmoniques; le problème est donc de rendre les harmoniques résonants inoffensifs.

» Je ne vais pas faire l'étude complète de ce problème complexe, dont s'occupe en ce moment la 1^{re} Section. Mais je puis rappeler en deux mots l'état de la question. On diminue beaucoup l'amplitude des harmoniques en donnant aux pôles une forme et des dimensions convenables; on la diminue encore davantage en augmentant la division de l'induit et mettant 3, 4 ou 5 encoches par pôle et par phase au lieu de 1 ou 2. Ces moyens sont employés depuis quelques années déjà. Enfin, d'après une étude récemment parue, il semble qu'en répartissant convenablement l'enroulement de l'induit on puisse arriver à supprimer complètement un certain nombre d'harmoniques d'ordre inférieur.

» Or les harmoniques d'ordre supérieur sont beaucoup moins dangereux que ceux d'ordre inférieur, parce que, toutes choses égales d'ailleurs, leur facteur de surtension est à peu près inversement proportionnel à leur ordre, en raison de l'influence, rapi-

dement prépondérante, des courants de Foucault pour les harmoniques d'ordre élevé.

» Prenons un exemple; soit un 13^e harmonique dont le facteur de surtension est égal à 108 sans amortissement, et l'amplitude à vide égale à 5 pour 100 de celle de la tension fondamentale. Supposons que l'amortissement ait pour effet de réduire à moitié le facteur de surtension brut. Le maximum de tension possible sera alors

$$1 + \frac{108}{2} \times 0,05 = 3,7 \text{ fois la tension normale.}$$

» Doublons le nombre des encoches de l'induit pour avoir le 25^e harmonique au lieu du 13^e et modifions les pièces polaires, de manière que la tension de cet harmonique à vide ne soit plus que 1 pour 100 de la tension fondamentale. Le facteur de surtension sera approximativement

$$\frac{51 \times 13}{25} = 28.$$

» Le maximum de tension possible sera dès lors

$$1 + 28 \times 0,01 = 1,28 \text{ fois la tension normale,}$$

c'est-à-dire peu gênant.

» J'ai tenu à donner cet exemple, évidemment arbitraire, pour bien montrer qu'il ne s'agit pas de *supprimer* complètement les harmoniques, mais seulement de les rendre inoffensifs, et que cela ne paraît pas irréalisable *a priori*.

» Si nous passons maintenant aux causes passagères de surtension, je dois tout d'abord faire remarquer que les surtensions obtenues diffèrent essentiellement de valeur selon qu'elles mettent en jeu, ou non, des résonances partielles et passagères d'harmoniques.

» Lorsque l'oscillation propre met en jeu des harmoniques, la tension peut monter extrêmement, et je ne serais pas éloigné de croire que toutes les surtensions *importantes* provenant de manœuvres pourraient être ramenées à ce cas. Cet effet sera complètement supprimé par les mesures qui auront été prises pour rendre les harmoniques inoffensifs.

» Du moment que les harmoniques sont rendus inoffensifs, il

semble que les surtensions passagères doivent être relativement modérées, si l'on tient compte, d'une part, de l'arc de fermeture ou de rupture et, d'autre part, des effets d'amortissement signalés par M. Boucherot et par M. Potier simultanément, puis par M. de Marchena.

» Nous avons donc à supprimer les effets nuisibles de surtensions passagères et probablement modérées. Il suffit pour cela d'avoir des déchargeurs qui s'amorcent à une tension notablement inférieure à la tension dangereuse pour les câbles, déchargent rapidement l'excès d'énergie des oscillations parasites sans amener de perturbation notable dans le régime normal de la ligne, et se désamorcent à une tension supérieure à la tension normale.

» Ce problème ne paraît pas insoluble; de tels appareils existent déjà, et ont donné sur certains réseaux d'excellents résultats. S'ils sont un peu délicats à régler pour des tensions moyennes, il semble que pour les très hautes tensions ils pourraient être réglés avec une grande précision et justifier ainsi l'essai des câbles sous une surtension fixe.

» Il existe même des déchargeurs à action continue, ne dépensant que peu d'énergie, qui doivent donner une sécurité encore plus grande.

» Ces appareils seraient évidemment à placer en un nombre de points suffisant pour éviter des surtensions locales.

» Ainsi, la question de l'élévation du coefficient de sécurité des câbles me paraît devoir, pour les très hautes tensions, être remplacée par le double problème suivant :

» 1° Réduction suffisante du rôle des harmoniques, problème qui est étudié en ce moment par la première section;

» 2° Installation en des points convenables de déchargeurs convenablement étudiés. La quatrième section a décidé d'entreprendre l'étude de cette intéressante question.

» Quand la première et la quatrième section nous apporteront la solution de ces deux problèmes, l'étude de la transmission de l'énergie à grande distance aura fait un grand pas en avant.

» VIII. Une question très importante reste cependant à résoudre encore; c'est celle du courant de charge, qui se pose déjà pour les

très longues lignes aériennes, et se poserait avec bien plus d'acuité pour les câbles.

» Il semble qu'il y ait un remède bien simple, qui a été indiqué par Vaschy il y a une vingtaine d'années déjà, et qui consiste à placer des bobines de réactance sur la ligne en les répartissant de façon qu'elles produisent l'effet d'une self-inductance supplémentaire uniformément répartie.

» Il serait prématuré peut-être de faire l'étude complète de ce problème. Toutefois, si l'on admet qu'on dispose de la self-inductance répartie du réseau et qu'on néglige les résistances, la solution est tellement simple qu'elle mérite d'être exposée.

» Nous avons trouvé dans la dernière séance que le potentiel est

$$U = E \frac{\cos b \left(1 - \frac{x}{l}\right)}{\cos b - \frac{bL'}{L} \sin b} \sin \omega t.$$

» Nous avons d'ailleurs

$$L \frac{\partial I}{\partial t} = -l \frac{\partial U}{\partial x} = -bE \frac{\sin b \left(1 - \frac{x}{l}\right)}{\cos b - \frac{bL'}{L} \sin b} \sin \omega t.$$

» D'où

$$\omega LI = bE \frac{\sin b \left(1 - \frac{x}{l}\right)}{\cos b - \frac{bL'}{L} \sin b} \cos \omega t,$$

et, par conséquent,

$$I = E \sqrt{\frac{C}{L}} \frac{\sin b \left(1 - \frac{x}{l}\right)}{\cos b - \frac{bL'}{L} \sin b} \cos \omega t.$$

» A l'origine, où le courant de charge est le plus gênant parce qu'il réagit sur l'excitation de l'alternateur et qu'on peut arriver à n'être plus maître de la tension, on a

$$I_{\text{eff}} = E_{\text{eff}} \sqrt{\frac{C}{L}} \frac{\sin b}{\cos b - \frac{bL'}{L} \sin b}.$$

» Pour l'annuler complètement il suffit de faire

$$\sin b = 0,$$

soit

$$b = K\pi.$$

» Il y a lieu de remarquer que, si cette condition est remplie pour la période fondamentale, elle l'est *ipso facto* pour tous les harmoniques quels qu'ils soient.

» Prenons b égal à π .

» Le courant de charge sera dès lors nul à l'origine, ira en croissant jusqu'au milieu de la ligne, puis en décroissant jusqu'à zéro à l'extrémité. Le potentiel sera égal à

$$E \sin \omega t$$

à l'origine, décroîtra jusqu'à zéro au milieu de la ligne, puis décroîtra jusqu'à

$$- E \sin \omega t$$

à l'extrémité. La ligne vibrera en demi-onde.

» Le maximum du courant de charge aura pour valeur

$$I_1 = -E \sqrt{\frac{C}{L}} \cos \omega t,$$

ou, en convenant que les lettres représenteront les valeurs efficaces au lieu des valeurs instantanées,

$$I_1 = E \sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{\omega C E}{b} = \frac{\omega C E}{K\pi}.$$

» Le courant maximum à vide sera donc $K\pi$ fois plus petit que le courant de charge calculé par la formule usuelle, c'est-à-dire qu'il sera aisé de le rendre inoffensif.

» Prenons un exemple arbitraire. Soit un câble de 400 kilomètres de long, dont la capacité totale serait de 20 microfarads, alimenté sous 40000 volts à la fréquence 50.

» Nous ajoutons des bobines de réactance de manière à rendre b égal à π , soit

$$10^4 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^{-5} \cdot L = \pi^2$$

ou

$$L = 5.$$

» La self-inductance kilométrique sera, dès lors,

$$L_K = \frac{5}{400} = 0,0125 \text{ henry,}$$

c'est-à-dire sensiblement six fois plus forte que la self-inductance normale du câble, ce qui n'a rien d'extraordinaire

» Le courant de charge maximum sera.

$$I_1 = \frac{100\pi \cdot 2 \cdot 10^{-8} \cdot 4 \cdot 10^4}{\pi} = 80 \text{ ampères,}$$

valeur qui ne présente aucun inconvénient, tandis que la méthode usuelle aurait donné le nombre 251 ampères, très gênant pour un câble dont la section ne pourra vraisemblablement guère dépasser 70 à 80 millimètres carrés.

» Il semble donc que le problème puisse être résolu et mérite d'être étudié d'une manière approfondie.

» IX. Une dernière remarque est à faire sur la question du coefficient de sécurité des câbles.

» On a remarqué que les câbles à petite section sautaient beaucoup plus facilement que les câbles à grosse section, et il y aurait peut-être lieu d'exiger un coefficient de sécurité élevé pour les petits conducteurs. Mais, comme le but de la quatrième section est l'étude des dispositions à prévoir pour les artères de transmission à grande distance, que ces artères ne se réaliseront, pour des motifs d'ordre financier, que si elles transportent de grandes puissances, et qu'on n'aura, par suite, à envisager que des câbles d'assez forte section de cuivre, il n'y a pas lieu de faire des réserves sur ce point. »

M. GUÉRY. — « Je désire exposer quelques remarques qui m'ont été suggérées par les conclusions très nettes de la communication de M. Picou.

» En premier lieu, je voudrais montrer l'influence de la fréquence de l'onde principale sur les phénomènes de surélévation de tension.

» A puissance et tension égales, les spires à enrouler sur une machine ou un transformateur doivent être plus nombreuses et embrasser une aire plus grande lorsqu'on réduit la fréquence normale de fonctionnement. Il en résulte que la self-induction des appareils varie en sens inverse de la fréquence pour laquelle ils sont normalement construits. L'aptitude à la résonance et les dangers de surtensions momentanées croissent donc quand on abaisse la fréquence.

» Il est juste de remarquer que la période des harmoniques d'un ordre déterminé produits par les machines est proportionnelle à celle de l'onde principale. De telle sorte que ce sont surtout les surtensions à la fermeture ou à la rupture d'un circuit qui sont à craindre spécialement aux basses fréquences, plus encore que les résonances d'oscillations forcées.

» En même temps que la self-induction, dans le même sens, mais suivant une progression moins rapide, la capacité des machines et des transformateurs varie avec la fréquence normale de fonctionnement. Je ne crois pas que l'on puisse négliger au point de vue des effets de résonance la capacité des machines puissantes enroulées directement pour haute tension, ni celles des transformateurs à très haute tension pour les fréquences les plus basses actuellement usitées; certains faits que j'ai eu l'occasion de constater m'inclinent même à penser que des phénomènes oscillatoires peuvent se produire sans l'intervention des câbles par le jeu même de la capacité et de la self-induction des appareils.

» Depuis quelques années, on tend à employer des fréquences de plus en plus basses, en particulier pour l'application des courants alternatifs à la traction, en même temps que l'on recherche des tensions de plus en plus élevées pour accroître le rayon des distributions d'énergie. Je crois qu'il ne serait pas prudent de descendre au-dessous de 25 périodes par seconde, fréquence pour laquelle on constate fréquemment des ruptures d'isolant des câbles ou des machines, dans des circonstances telles qu'il n'est pas possible d'invoquer des défauts de construction pour expliquer les phénomènes. »

M. Guéry rappelle que M. Picou a terminé son exposé par le vœu que les constructeurs recherchent les moyens de produire des ondes de force électromotrice pures. Il expose ensuite sommairement les principales causes de la production des harmoniques dans les machines et le principe général des procédés à employer pour réduire leur amplitude.

Nous ne donnons pas ici cette partie de la Communication de M. Guéry qui pourra être plus utilement développée à propos de la question de la suppression des harmoniques, actuellement à l'ordre du jour de la première section.

Influence des fuites magnétiques sur les régimes d'un réseau.

M. POTIER. — « On se propose d'étudier l'influence de la dispersion des transformateurs, tels qu'ils sont construits aujourd'hui, tant sur le régime forcé que sur les régimes libres d'un réseau d'éclairage.

» Soient :

R et L les constantes de l'alternateur;

C la capacité du câble;

u la différence de potentiel instantanée aux bornes des transformateurs;

U la valeur maximum et $u = U \sin \omega t$.

» Les appareils branchés consomment un courant i en retard sur u et dont la valeur est $U(A \sin \omega t - B \cos \omega t)$; le courant de charge est $\omega CU \cos \omega t$; le courant total

$$U[A \sin \omega t + (C\omega - B) \cos \omega t]$$

et, par suite, la force électromotrice de la machine

$$e = U[\sin \omega t + [RA - L\omega(C\omega - B)] \sin \omega t + [R(C\omega - B) + L\omega A] \cos \omega t].$$

» Le rapport de la force électromotrice maxima E de la machine à U est donc donné par

$$\frac{E^2}{U^2} = [1 + RA - L\omega(C\omega - B)]^2 + [R(C\omega - B) + L\omega A]^2$$

qui, considéré comme fonction de C , passe par un minimum pour

$$C\omega = B + \frac{L\omega}{Z^2},$$

si Z est l'impédance de la machine. La valeur de ce minimum se présente sous la forme simple

$$\left(\frac{R}{Z} + AZ\right)^2;$$

ce que M. Picou a appelé *facteur de surtension* est donc, pour la capacité la plus dangereuse,

$$\frac{U}{E} = \frac{Z}{R + AZ^2}.$$

» Étudier l'influence de la dispersion, ou de tel élément qu'on voudra sur cette surtension, se réduit à étudier son influence sur A ; de même l'étude de B fait voir comment varie la capacité dite *dangereuse*.

» Ces valeurs de A et de B dans un transformateur dépourvu d'hystérésis se déduisent immédiatement des équations classiques rappelées par M. Brylinski dans la dernière séance et, si l'on introduit le coefficient σ de dispersion, s'écrivent

$$A = \frac{R_1 Z_2^2 + R_2 L_1 L_2 \omega^2 (1 - \sigma)}{D}, \quad B = \frac{(L_1 R_2^2 + \sigma L_1 L_2^2 \omega^2) \omega}{D}$$

avec

$$D = (R_1 R_2 - L_1 L_2 \omega^2 \sigma)^2 + (R_1 L_2 + R_2 L_1)^2 \omega^2.$$

» On sait qu'on ne change rien au débit du primaire si, par un changement convenable du nombre de tours et de la section du secondaire, on multiplie L_2 par K^2 , ainsi que R_2 , M par K et que l'on divise I_2 par K ; on peut donc substituer au transformateur étudié un autre ayant même primaire, un rapport de transformation sensiblement égal à 1 avec $L_1 = L_2$ et la même valeur pour σ ; la nouvelle résistance R_2 ou résistance réduite faisant connaître avec une précision suffisante le courant débité au primaire.

» Pour apprécier les approximations faites, il est nécessaire de connaître l'ordre de grandeur de R_1 , L_1 et σ . Pour R_1 , le chiffre de 0,3 ohm, pour un transformateur de 300 kilowatts, correspondant à une perte de 6 kilowatts par effet Joule dans le cuivre, est acceptable; $L_1 \omega$ est déterminé par l'essai à vide et est 1000, car il se confond avec l'impédance quand il n'y a pas d'hystérésis; quant à σ , M. Brylinski adopte le chiffre 0,008; j'estime ce chiffre dix fois trop fort et voici pourquoi : dans l'essai en court-circuit les équations employées par M. Brylinski montrent que le transformateur se conduit comme une bobine de réaction ayant comme résistance ohmique $R_1 + R_2$ (R_2 est bien entendu la résistance réduite) et comme réactance $\sigma L_1 \omega$, d'où une impédance

$$Z_{cc} = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + L_1^2 \sigma^2 \omega^2}.$$

» Or, en court-circuit, une différence de potentiel de 90 volts donnait le courant de pleine charge, soit 100 A; par suite,

$$Z_{cc} = 0,9 \text{ ohm};$$

$R_1 + R_2$ est 0,6, donc

$$L_1^2 \sigma^2 \omega^2 = 0,81 - 0,36 = 0,45 \quad \text{et} \quad L_1 \sigma \omega = 0,67 \text{ ohm},$$

résultat observé fréquemment quant à l'ordre relatif de grandeur de R_1 et de $L_1 \sigma \omega$ dans les transformateurs actuels; comme d'ailleurs $L_1 \omega = 1000$, on voit que σ est notablement inférieur à 0,001, chiffre que j'adopterai. Substituant ces valeurs,

$$R_1 = 0,3 \quad L_1 \omega = 1000, \quad L_1 \omega \sigma = 1, \quad L_2 \omega = 1000, \quad \omega = 314.$$

» On a alors

$$A_1 = \frac{0,3(R_2^2 + 10^6) + 999 \cdot 10^3 R_2}{D_1}, \quad B_1 = \frac{1000}{D_1} (R_2^2 + 10^3),$$

$$D_1 = (0,3 R_2 - 10^3)^2 + 10^6 (R_2 + 0,3)^2.$$

» Si l'on néglige la dispersion,

$$A_2 = \frac{0,3 R_2^2 + 0,3 \cdot 10^6 + 10^6 R_2}{D_2}, \quad B = \frac{1000}{D_2} R_2^2,$$

$$D_2 = 0,09 R_2^2 + 10^6 (R_2 + 0,3)^2.$$

» Si l'on néglige R_1 ,

$$A = \frac{1}{R_2}, \quad B = 0,001.$$

» Simplification de M. Picou :

$$A = \frac{1}{R_2} + \frac{0,65}{1000}, \quad B = \frac{0,76}{1000}.$$

» On trouve

	A_1	F_1	A_2	F_2
$R_2 = 0,03$ (court-circuit)	0,442	0,087	1,67	0,023
$R_2 = 1$ —	0,483	0,079	0,769	0,050
$R_2 = 2$ —	0,365	0,104	0,435	0,086
$R_2 = 3$ —	0,277	0,138	0,303	0,124
$R_2 = 30$ (pleine charge)	0,0350	1,0133	0,035	1,0133

» Il n'y a d'écart sérieux que pour des charges près de dix fois supérieures aux charges normales et pour lesquelles les facteurs F_1 , F_2 de surtension sont notablement inférieurs à l'unité, c'est-à-dire dans des cas absolument dépourvus d'intérêt pratique. Si l'on veut faire abstraction de l'hystérésis, la méthode de M. Picou ne présente donc que des avantages : simplicité des calculs et représentation intuitive.

» Pour la valeur de B , leur étude n'a de raison d'être que quand des surtensions peuvent se produire, c'est-à-dire pour $R_2 > 30$; or, pour $R_2 = 30$, on a

$$B_1 = 0,00206, \quad B_2 = 0,00098;$$

la différence indiquée par M. Brylinski paraît notable, mais, si l'on se reporte à la valeur de C , on voit que le terme en B a une bien faible importance; en effet, $L\omega = 26$, $R = 2$, de sorte que

$$C\omega = \frac{26}{680} + B_1 \text{ ou } + B_2,$$

c'est-à-dire que $C\omega$ est 0,04029 en tenant compte de la dispersion et 0,03921 quand on la néglige.

» Dans les régimes libres, la dispersion joue un rôle, qui est même important dans la télégraphie sans fil, mais qui n'a pas d'intérêt industriel pratique; en revanche, elle introduit une complication considérable; en effet, le régime libre du circuit le plus simple, composé du câble et du transformateur fermé sur une résistance secondaire, est un régime périodique amorti lorsque la résistance dépasse une certaine limite R_c ou la superposition de deux régimes amortis dont les amortissements sont l'un plus faible, l'autre plus fort que l'amortissement critique; par exemple, avec $C = 2$ microfarads, $L = 3,18$ henrys, la résistance critique est $R_c = 622$ (réduite au primaire) et $\alpha_c = 397$; des deux amortissements, l'un tombe rapidement vers zéro avec R_2 auquel il est sensiblement proportionnel, l'autre prend des valeurs énormes.

» Lorsqu'il y a dispersion, on peut distinguer trois cas : ou bien la résistance du secondaire est supérieure à R_c , alors au régime oscillatoire amorti s'en superpose un autre simplement amorti pour lequel α est d'autant plus grand que R est plus grand et σ plus petit; cet amortissement est toujours considérable, au moins 200 000 dans l'exemple ci-dessus; si la résistance descend au-dessous de R_c mais reste supérieure à une résistance R_d (de 78 ohms) notablement plus faible tout en étant, dans l'exemple choisi, notablement supérieure à la résistance de pleine charge, il existe trois régimes amortis possibles pour le système : l'un a le même amortissement que le plus petit des deux amortissements du circuit sans dispersion; les deux autres sont, au contraire, plus grands que le plus grand amortisse-

ment du circuit sans dispersion. Descend-on au-dessous de cette résistance R_d , le régime faiblement amorti, $\alpha = \frac{R_1}{L_1}$, continue à être possible et les deux autres se confondent en un régime oscillatoire très fortement amorti d'abord et à longue période; l'amortissement pour $R_2 = 78$ ohms étant de 13 000 environ, il tombe à 94 pour le court-circuit $R_2 = 0,03$, tandis que β arrive à 12 500.

» Le diagramme ci-joint résume ces faits; les résistances sont portées sur l'axe horizontal; si par un point de cet axe on mène une verticale, celle-ci rencontre la courbe 2 qui se prolonge indéfiniment en haut en trois points si R_2 est compris entre 630 et 78; ces points ont pour ordonnées les trois amortissements correspondants. Au-dessous de $R = 78$, la verticale rencontre la courbe (α) 3 et la courbe (β) 3 aux points dont les ordonnées sont les α et β correspondants, le second α , très petit, est donné par la rencontre avec la partie ascendante de la courbe (2).

» Un second diagramme est spécial pour les très faibles charges avec $R > 630$, une des valeurs de α non figurée est énorme, l'autre tombe rapidement vers 0 quand la charge diminue.

» La courbe 1, qui se confond avec (2) pour les petites valeurs de α , conviendrait au même système en négligeant la dispersion dans les transformateurs (1).

» Je tiens à m'excuser vis-à-vis des membres de la Société de leur présenter de tels calculs pour aboutir à cette conclusion qu'ils sont inutiles, mais j'y ai été provoqué par la Communication de M. Brylinski.

» Des calculs très approximatifs sont très suffisants pour ce genre de questions. Il est intéressant de déterminer l'ordre de grandeur des surtensions qu'on doit appeler *normales* et qui accompagnent les manœuvres nécessaires à l'exploitation courante, au

(1) On voit que pour les très faibles résistances aux secondaires la dispersion, dont M. Brylinski a montré le rôle sur le régime permanent, a une influence notable sur les régimes libres, de sorte que le réseau séparé brusquement de l'alternateur lorsque la charge est très forte peut avoir un β très grand de l'ordre de 10 000 et un α relativement faible; comme c'est le rapport de β à α qui joue le rôle prépondérant dans la valeur de la surtension par rupture brusque, des tensions dangereuses seraient à craindre; je n'ai pas examiné quelle est l'importance de l'hystérésis dans ce cas, mais elle est certainement importante puisque β est grand.

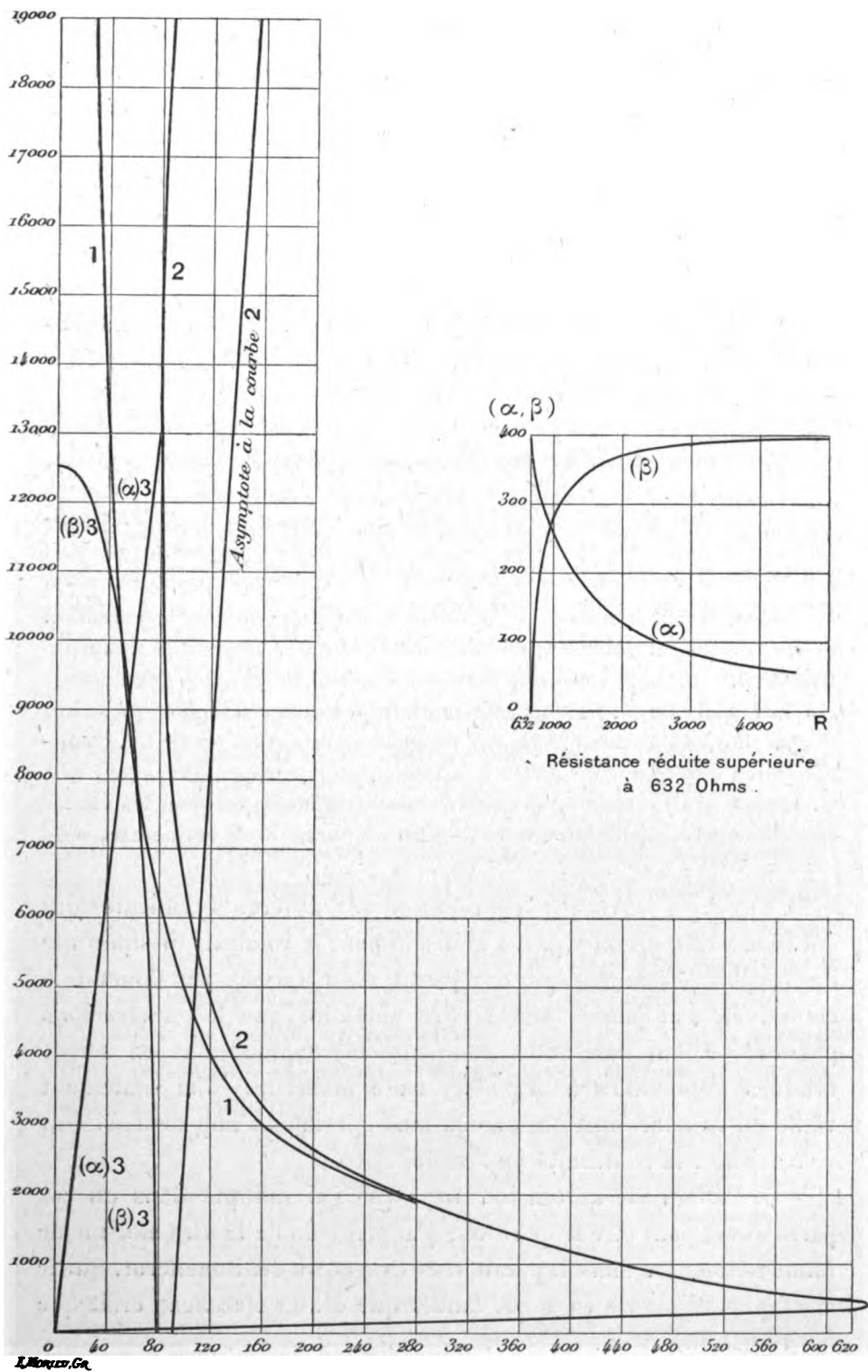


Fig. 1.

besoin pour modifier ces manœuvres et pour déterminer les épreuves que les câbles doivent subir. Il me paraît exagéré de leur demander de résister à des surtensions dues soit à des accidents graves ou à de fausses manœuvres; ceci doit être le rôle d'appareils protecteurs spéciaux que les ressources de la technique moderne mettent, semble-t-il, aujourd'hui à la disposition des exploitants et dont l'étude doit primer tout le reste; un câble résistant à 35 000 volts, protégé par des appareils fonctionnant *sûrement* à 30 000, me paraîtrait bien suffisant pour une exploitation à 25 000 volts bien conduite.

Observations sur la Note de M. Brylinski (4 mai).

« Il n'est pas exact de dire que l'étude des résonances dans l'état permanent fait connaître la ou les périodes d'oscillation propres du réseau; dans le cas le plus simple, si α et β sont les paramètres d'une oscillation du réseau, il faut donner à ω la valeur $\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$ pour que la condition $1 - CL\omega^2 = 0$ soit satisfaite; la connaissance de ω n'entraîne donc pas celle de β .

» Les essais de M. Krarup ont porté sur des câbles téléphoniques dont chaque fil était directement recouvert d'une spirale en fil de fer fin, conditions bien différentes de celles des industriels; je rappellerai aussi que M. Jacquin avait présenté, au Congrès des électriciens, en 1889, des études expérimentales sur l'influence de la gaine de plomb et de l'armature. »

M. PICOU. — « Avant toute réplique aux différents Collègues qui ont bien voulu prendre part à la discussion, je voudrais dissiper une impression pessimiste que me paraît avoir laissée ma Communication. Je n'ai jamais pensé faire entendre que les surtensions possibles soient suffisantes pour que les exploitations en soient rendues impossibles à organiser ou à maintenir. J'ai seulement voulu en conclure que des précautions spéciales s'imposent, si l'on veut assurer la continuité de l'exploitation.

» Le facteur de surtension 107, que j'ai indiqué dans un cas particulier, peut être trop élevé; j'ai pris soin de le dire moi-même immédiatement. Mais il paraît très exagéré à M. Boucherot, qui le croit plus voisin de 15 à 20, tandis que M. de Marchena croit que 5 à 10 est une valeur suffisante.

» L'observation de M. Boucherot s'appuie sur cette remarque que

le terme R doit comprendre tout ce qui contribue à dissiper de l'énergie, et notamment les courants de Foucault et l'hystérésis comptés pour la fréquence de l'oscillation. L'observation est juste et, toutes les fois qu'on peut mesurer les conditions de fonctionnement, c'est $Z \cos \psi$ qui doit être pris pour R , ainsi que je l'ai fait moi-même un peu plus loin. Dans l'essai visé ici, ne pouvant obtenir cette valeur, j'ai évalué R à 2,7 ohms, et il est possible que ce soit trop peu. J'ai pris soin de dire immédiatement que les chiffres ainsi calculés n'avaient pas grande valeur absolue.

» Toutefois, je crois que l'estimation de M. Boucherot est trop basse, et je dois rapporter ici quelques détails de ces expériences que je n'ai pas indiqués tout d'abord, mais qui prennent de l'intérêt en présence des observations de MM. Boucherot et de Marchena.

» Lors de l'essai, il existait en dérivation sur l'alternateur, outre le câble, un voltmètre électrostatique et des déchargeurs-parafoudres à réglage micrométrique. Avant de relier le câble, ces déchargeurs ont été réglés pour fonctionner à la tension de 5800 volts. Le câble fut ensuite rattaché et la tension élevée progressivement. Dès que le même wattmètre électrostatique indiqua 3000 volts, les déchargeurs fonctionnèrent d'une manière continue. La surtension totale était donc, au moins, de $\frac{5800}{3000} = 1,93$.

» L'ondographie relevée en même temps montrait l'harmonique 11 sensiblement en résonance. On est donc fondé à lui attribuer la part prépondérante dans la surtension. Le facteur propre à cet harmonique dépend de son amplitude originelle. En la mesurant d'après la courbe imprimée (résultat de plusieurs décalques et réductions successives), M. Boucherot l'estime à 7 ou 8 pour 100 de celle de l'onde principale, et, dans ces conditions, en effet, la valeur de α tomberait à 15 environ.

» Mais cette machine a pu être, un peu plus tard, analysée à l'oscillographe. Les mesures ont montré l'existence des harmoniques 3, 5, 7, 11, 13, avec les amplitudes, en centièmes de celles de l'onde principale, respectivement égales à 1, 1,1, 0,43, 1,50, 0,65. En raison du décalage de certaines d'entre elles, l'ordonnée maxima calculée d'après ces valeurs est de 104,25. La mesure directe sur la courbe globale, assez délicate à cause de la

petitesse de l'échelle et du flou du trait photographique, donne environ 107 à 108 pour 100; c'est bien la valeur de M. Boucherot. Je crois plus exact de s'en tenir à la mesure directe de l'harmonique 11; même en admettant qu'elle puisse être fortement erronée, 50 pour 100, par exemple, le facteur propre α a encore une valeur d'au moins 40. Il ne me semble donc pas que les chiffres de 5 à 20, estimation de mes Collègues, soient compatibles avec l'expérience.

» La surtension globale de 1,93 me semble aussi incompatible avec la valeur $\sqrt{2} = 1,41$, que M. de Marchena a indiquée comme le maximum possible, comme l'a fait remarquer tout à l'heure M. Brylinski.

» Au sujet des surtensions de fermeture, M. Brylinski pense que c'est un pur hasard si l'on ferme un circuit au moment du maximum de tension. J'avais indiqué le fait comme probable; si l'on adopte les chiffres de M. Brylinski, cette probabilité devient chiffrable. En admettant que l'interrupteur ferme avec une vitesse infinie, la probabilité de fermer sur une valeur supérieure à $0,9 E_{\max}$ est de 29 pour 100. Ce n'est déjà pas négligeable; mais, si l'on admet, avec M. Brylinski, qu'en raison de la vitesse finie d'approche des pièces de contact, cette fermeture se fera entre $0,5 E_{\max}$ et $E_{\max}$, alors la probabilité de fermer au-dessus de $0,9 E_{\max}$ devient 57 pour 100. Cela arrivera dans plus de la moitié des cas; ce n'est plus du hasard.

» Mes conclusions semblent cependant subsister en ce qui concerne : 1° la nécessité d'obtenir des facteurs de sécurité suffisants pour résister aux manœuvres normales peu dangereuses, et 2° la nécessité d'ajouter aux lignes des déchargeurs formant soupape de sûreté pour parer, dans la mesure du possible, à des surtensions accidentelles élevées. »

M. le PRÉSIDENT remercie les orateurs qui ont bien voulu prendre part à cette très intéressante discussion.

**LA DENSITÉ DE COURANT ET LA TENSION LES PLUS PROFITABLES
POUR LA TRANSMISSION DE L'ÉNERGIE.**

M. SWYNGEDAuw. — « *Le problème économique des transports d'énergie.* — La question qui se pose à l'ingénieur qui veut installer un transport d'énergie semble être la suivante :

» La puissance utile que l'on veut produire étant donnée d'avance, quelle puissance doit-on installer à l'usine génératrice, située à une distance D de l'usine réceptrice et quelle est la section des canalisations à adopter pour que la dépense d'installation et le prix de revient de l'énergie à la station réceptrice soient minima? La résolution de ce problème conduit à la règle de Lord Kelvin, sur la densité la plus économique, rappelée plus loin.

» Le problème économique réel me paraît légèrement différent du précédent. Quoique la pratique semble avoir consacré ce principe de la dépense minimum, il paraît plus rationnel de mener une entreprise de façon à en tirer le meilleur parti et le plus grand bénéfice; d'autre part, dans les transports d'énergie, la puissance utile n'est pas absolument déterminée; elle est appelée à grandir, tandis que la puissance installée à l'usine est toujours donnée.

» En effet, lorsque, après avoir jeté un coup d'œil sur la puissance totale qui sera un jour installée à l'usine et sur la vitesse de développement de cette installation, l'ingénieur aura choisi les types et la puissance des machines génératrices, etc., il importe de remarquer, qu'à un stade quelconque du développement de l'usine, il y aura à la station génératrice une installation de machines, moteurs, générateurs, transformateurs, etc. d'une puissance *déterminée* dont il faut tirer le meilleur parti, et le problème économique posé sera le suivant :

» *Étant donnée une usine génératrice de puissance installée donnée P , dans quelles conditions faut-il transmettre l'énergie à la station réceptrice pour retirer de l'entreprise le plus grand bénéfice?*

» *Mise en équation du problème.* — Nous savons que, pour augmenter le rendement, il faut élever la tension de transmission et,

pour obtenir le maximum de sécurité, relativement aux accidents dus aux étincelles disruptives qui éclateraient aux appareils de l'usine, avec le minimum de dépenses, nous emploierons les courants triphasés.

» Nous supposerons une double transformation au départ et à l'arrivée et laisserons la nature du courant alternatif quelconque, mono ou polyphasé.

» Nous produirons l'énergie à une tension moyenne commode, entre deux bornes des génératrices; nous élèverons cette tension à l'aide de transformateurs installés à la station génératrice, nous réunirons les bornes communes de leurs secondaires à haute tension aux bornes du primaire à haute tension d'un second transformateur, installé à la station réceptrice, par trois lignes; nous recueillerons, aux bornes du secondaire de la station réceptrice, un courant à basse tension ou à tension moyenne.

» Il s'agit de rendre maximum le bénéfice de l'entreprise. Calculons d'abord la puissance utilisable à la station réceptrice.

» La puissance disponible aux bornes des génératrices étant P , la puissance disponible aux bornes du secondaire des transformateurs de départ, à l'origine des lignes, sera

$$P_1 = P - \frac{k_1}{100} P,$$

en désignant par $\frac{k_1}{100} P$ la puissance perdue dans les transformateurs.

» La puissance perdue en ligne est

$$N \frac{r l i^2}{s},$$

N désignant le nombre de lignes installées,

r la résistivité,

l la longueur,

s la section d'une ligne

i le courant qui la parcourt.

» L'énergie perdue pendant le temps dt est

$$N \frac{r l i^2}{s} dt.$$

» L'énergie perdue pendant un temps dt' où le courant a la valeur i' sera

$$N \frac{r l i'^2}{s} dt',$$

de sorte que l'énergie perdue annuellement sera

$$W = N \frac{r l}{s} (i^2 dt + i'^2 dt' + \dots),$$

$dt, dt', \dots$ désignant les diverses durées élémentaires en lesquelles on peut décomposer une année. Si cette énergie était perdue par un courant constant passant pendant la durée moyenne d'utilisation T (¹), l'intensité efficace de ce courant eût été i_e telle que

$$W = N \frac{r l i_e^2}{s} T,$$

et elle serait exprimée en watt-heures si T est évaluée en heures, i_e en ampères et r en ohms; en outre, la puissance perdue P' est exprimée en watts

$$P' = N \frac{r l i_e^2}{s}.$$

» La puissance disponible aux bornes du primaire des transformateurs d'arrivée sera

$$P - \frac{k_1}{100} P = N \frac{r l i_e^2}{s}.$$

» Les pertes dans les transformateurs d'arrivée étant aussi de $\frac{k_2}{100}$ de la puissance amenée aux bornes du primaire, les pertes dans le transformateur d'arrivée seront

$$\frac{k_2}{100} P - \frac{k_1 k_2}{100^2} P = \frac{k_2}{100} N \frac{r l i_e^2}{s},$$

et la puissance utilisable disponible aux bornes du secondaire sera la puissance génératrice diminuée des pertes successives, c'est-à-dire

$$P - \frac{k_1 + k_2}{100} P + \frac{k_1 k_2}{100^2} P = \left(1 - \frac{k_2}{100}\right) N \frac{r l i_e^2}{s}.$$

(¹) Rappelons que la durée moyenne d'utilisation est la durée pendant laquelle il faudrait faire fonctionner *toutes* les génératrices de l'usine à leur charge normale pour produire l'énergie totale qui est produite réellement en une année.

» Calculons maintenant les dépenses. Si π est la dépense d'installation par watt et a le taux d'amortissement des bâtiments, des appareils et machines de l'usine, $P\pi a$ représente la dépense annuelle due à l'amortissement de l'usine.

» Si π_1 représente le prix d'installation par watt des transformateurs de l'usine génératrice et a_1 leur taux d'amortissement, $\left(P - \frac{k_1}{100}P\right)\pi_1 a_1$ représente la dépense annuelle d'amortissement des transformateurs de départ.

» Si π_2 représente le prix d'installation par watt d'un transformateur de la station réceptrice et a_2 le taux d'amortissement,

$$\left[P - \frac{k_1 + k_2}{100}P + \frac{k_1 k_2}{100^2}P - \left(1 - \frac{k_2}{100}\right)\frac{Nr l i_c^2}{s}\right]\pi_2 a_2$$

représente la dépense annuelle d'amortissement des transformateurs d'arrivée.

» La dépense de la ligne se compose de deux parties : l'une comprenant en particulier les poteaux et isolateurs, etc. si la ligne est aérienne ; en travaux de tranchée, etc. si la ligne est souterraine, et qui ne dépend pas de la section de la ligne, l'autre comprenant la ligne elle-même proportionnelle à la section ; chacune d'elles est proportionnelle à la longueur.

» Nous écrirons la première $mlb + m'l$; la seconde sera $Nnlsb$:

ml représente la dépense d'installation des poteaux ;

b le taux d'amortissement ;

$m'l$ la dépense d'entretien et de surveillance ;

n le prix de l'unité de volume du cuivre à pied-d'œuvre.

» Soit p la dépense d'exploitation par watt-heure produit à l'usine ; en évaluant la puissance en watts et le temps en heures, PTp représente la dépense de production de l'énergie annuelle à l'usine ; soit G les frais généraux de l'usine. La dépense annuelle est représentée par

$$\begin{aligned} A = & P(Tp + \pi a) + \left(P - \frac{k_1}{100}P\right)\pi_1 a_1 \\ & + \left[P - \frac{k_1 + k_2}{100}P + \frac{k_1 k_2}{100^2}P - \left(1 - \frac{k_2}{100}\right)\frac{Nr l i_c^2}{s}\right]\pi_2 a_2 \\ & + mlb + m'l + Nnlsb + G. \end{aligned}$$

» La recette annuelle provient uniquement de l'énergie vendue.

» Soit p_1 le prix de vente du watt-heure, la vente de l'énergie produira une somme

$$\left[P - \frac{k_1 + k_2}{100} P + \frac{k_1 k_2}{100^2} P - \left(1 - \frac{k_2}{100} \right) \frac{Nrli_e^2}{s} \right] Tp_1.$$

» Le bénéfice de l'entreprise sera donc

$$(1) \quad \left\{ \begin{aligned} B = & \left[P - \frac{k_1 + k_2}{100} P + \frac{k_1 k_2}{100^2} P - \left(1 - \frac{k_2}{100} \right) \frac{Nrli_e^2}{s} \right] Tp_1 \\ & - P(Tp + \pi a) - \left(P - \frac{k_1}{100} P \right) \pi_1 a_1 \\ & - \left[P - \frac{k_1 + k_2}{100} P + \frac{k_1 k_2}{100^2} P - \left(1 - \frac{k_2}{100} \right) \frac{Nrli_e^2}{s} \right] \pi_2 a_2 \\ & - mlb - m'l - Nnlsb - G. \end{aligned} \right.$$

» *Densité la plus profitable.* — Dans une usine qui fonctionne, la puissance génératrice P est donnée ainsi que la tension de transmission; on connaît également les lignes et les appareils qui utilisent le courant fourni par le secondaire du transformateur d'arrivée, par suite, le facteur de puissance g ; le courant i_e qui passe dans les lignes est donc déterminé par la formule

$$P = U_e i_e g.$$

» Remarquons que, d'autre part, le prix de vente de l'énergie, le prix d'installation des machines et des transformateurs, les dépenses d'exploitation, la durée moyenne d'utilisation, la résistivité de la ligne, sa longueur, le taux d'amortissement, les prix de pose et d'entretien sont connus ou fixés pratiquement; la seule variable dans cette équation est la section s .

» Le bénéfice de l'entreprise dépendra donc uniquement du choix de la section de la ligne, si l'on se donne la tension. Il s'agit de rendre minima la somme $\mathfrak{A}$ des termes soustractifs qui dépendent de la section s , c'est-à-dire

$$\mathfrak{A} = \left(1 - \frac{k_2}{100} \right) \frac{Nrli_e^2}{s} (Tp_1 - \pi_2 a_2) + Nnlsb.$$

» Les deux termes de cette somme ont un produit constant, par suite, la somme est minimum quand les termes sont égaux, c'est-

à-dire lorsque l'on a

$$(2) \quad \left(1 - \frac{k_2}{100}\right) \frac{Nrli_c^2}{s} (Tp_1 - \pi_2 a_2) = Nnlsb,$$

on en déduit la section la plus profitable pour le transport de l'énergie

$$(3) \quad s = i_c \sqrt{\frac{\left(1 - \frac{k_2}{100}\right) r (Tp_1 - \pi_2 a_2)}{nb}}.$$

» Si nous remarquons que $\frac{i_c}{s}$ est le courant moyen qui passe par unité de section, c'est-à-dire la densité moyenne du courant $d = \frac{i_c}{s}$,

$$(4) \quad d = \sqrt{\frac{nb}{\left(1 - \frac{k_2}{100}\right) r (Tp_1 - \pi_2 a_2)}}.$$

» Remarquons que $\frac{k_2}{100}$ varie de $\frac{2}{100}$ à $\frac{6}{100}$, c'est-à-dire est négligeable devant l'unité, qu'en outre $\pi_2 a_2$, amortissement et entretien des transformateurs d'arrivée par watt, est négligeable devant le prix de vente Tp_1 de l'énergie produite par watt en une année, c'est-à-dire devant le prix du watt-an engendré et la condition la plus favorable pour le transport de l'énergie devient :

$$(5) \quad Nnlsb = \frac{Nrli_c^2}{s} Tp_1$$

et la densité la plus profitable de transmission de l'énergie

$$(6) \quad d = \sqrt{\frac{nb}{rTp_1}}.$$

» L'équation (5) nous amène à énoncer les conditions optima de transmission de l'énergie sous la forme suivante :

» *Lorsqu'on se donne la tension de transmission de l'énergie au départ des lignes et la puissance installée à l'usine, la section la plus profitable à donner aux lignes de transmission est telle que le prix de vente d'une quantité d'énergie égale à l'énergie perdue en ligne est égale à l'amortissement des câbles qui la constituent.*

» Cette règle s'applique aussi bien au courant continu, car la

formule qui donne la densité la plus profitable ne fait pas intervenir les transformateurs.

» Pour une ligne en cuivre à 2500 fr la tonne qui coûterait $n = 22,50$ fr le kilomètre de fil de ligne aérienne de 1 mmq de section, amortie au taux $b = 0,08$, r étant pris égal à 20 ohms par kilomètre et par millimètre carré de section, les densités les plus profitables seraient

0,948	avec un prix de vente du kilowatt-an engendré de	100 fr
0,774	—	150 —
0,67	—	200 —
0,54	—	300 —
0,424	—	500 —
0,358	—	700 —
0,300	—	1000 —

» Dans le cas de câbles isolés pour canalisations souterraines, dont le coût est double, on voit que les densités sont $\sqrt{2}$ fois plus grandes, c'est-à-dire 1,34 pour une usine qui vendrait l'énergie à 100 francs le kilowatt-an :

1,094	avec un prix de vente du kilowatt-an engendré de	150 fr
0,94	—	200 —
0,77	—	300 —
0,60	—	500 —
0,424	—	1000 —

» On se fera une idée du prix du kilowatt-an engendré par les exemples suivants :

» Une usine pour éclairage et force motrice qui a une durée d'utilisation de 1000 heures et vend son énergie au prix moyen de 0,75 fr le kilowatt-heure produit le kilowatt-an engendré à 750 fr.

» Avec un prix de vente moyen de 0,50 fr, le kilowatt-an revient à 500 fr.

» Une usine pour force motrice dont la durée d'utilisation serait de 2000 heures et qui vend le kilowatt-heure à 0,30 fr, vend le kilowatt-an engendré à 600 fr; au prix de 0,10 fr le kilowatt-heure, le kilowatt-an engendré revient à 200 fr; remarquons, en passant, qu'une durée d'utilisation de l'usine génératrice de 2000 heures correspond à la marche pendant 3000 heures d'une usine réceptrice aux $\frac{2}{3}$ de sa charge nominale, de sorte que le prix de vente du kilo-

watt-an engendré est égal au prix de vente du kilowatt-an nominal installé à l'usine réceptrice fonctionnant dans ces conditions.

» *Comparaison avec la densité la plus économique.* — On choisit, en général, pour densité de courant de transmission de l'énergie, la densité la plus économique de Lord Kelvin, celle qui conduit au minimum de dépenses annuelles; cette densité est

$$d' = \sqrt{\frac{nb}{r(Tp + \pi a + \pi_1 a_1)}};$$

Tp est la dépense d'exploitation par watt-an produit à l'usine;

$\pi a + \pi_1 a_1$ est la dépense annuelle d'amortissement de l'usine (générateur, transformateur de départ);

$Tp + \pi a + \pi_1 a_1$ est donc la dépense totale de production du watt-an à l'usine.

» On voit que la densité la plus favorable est plus petite que la densité la plus économique; celle-ci est indépendante de la longueur de la ligne et de tous les frais, généraux et divers, autres que ceux de l'usine génératrice; la densité la plus favorable dépendant du prix de vente, par suite, implicitement, de la longueur de la ligne, des frais généraux, etc., différera notablement de la densité la plus économique dans le cas de transports à longue distance, où la ligne coûte relativement cher par rapport au reste de l'installation; c'est ainsi que certaines usines fonctionnent à une densité de courant économique sensiblement double de la tension la plus profitable, de sorte que ces entreprises auraient intérêt à doubler leurs lignes.

» *Influence d'un écart de densité avec la densité la plus profitable.*

— Remarquons qu'une usine qui se développe installera de nouvelles unités génératrices et de nouvelles lignes au fur et à mesure de ses besoins.

» Si, avant l'installation d'une nouvelle unité à l'usine génératrice, la durée d'utilisation est T , immédiatement après l'installation de cette unité, la durée moyenne d'utilisation T_1 devient plus petite, T_1 , car l'énergie à fournir n'ayant pas changé, la durée moyenne d'utilisation est telle que la puissance P devenant P_1 ,

$$PT = P_1 T_1;$$

la densité la plus favorable croîtra donc avec le développement de l'usine.

» Il faut remarquer que c'est avant l'introduction de la nouvelle unité génératrice que la densité doit être le plus faible, et après l'introduction que la densité doit être le plus forte; cette conséquence est conforme à ce qui se passera en pratique, à mesure que la puissance installée deviendra plus grande; la puissance transportée le devient aussi et, par suite, la densité du courant augmente avec la puissance installée. Cette densité étant variable au fur et à mesure du développement de l'usine, on aura intérêt à installer un nombre de plus en plus grand de lignes au fur et à mesure des besoins et l'on choisira judicieusement la densité la plus économique pour un stade déterminé du développement de l'usine.

» On aura donc une certaine latitude dans le choix de la densité de transmission et l'on pourra la choisir de façon qu'elle soit sensiblement voisine de la densité la plus profitable pendant toute la phase de développement de l'usine.

» Les densités que nous avons trouvées sont des densités moyennes annuelles; à certains moments et à certaines saisons, en hiver par exemple, dans les premières heures de la soirée, la puissance demandée à une usine d'éclairage sera notablement plus grande qu'en été et, par suite, la densité du courant à ces moments sera notablement plus grande que la densité moyenne; il faut que ces densités instantanées ne soient pas supérieures à celles que le conducteur peut supporter sans danger pour ses qualités mécaniques. Les densités les plus profitables qui conviennent aux transports d'énergie sont, en général, très inférieures à ces densités dangereuses; il n'y a donc que de bonnes raisons pour installer les transmissions d'énergie conformément aux indications fournies par les considérations économiques précédentes.

» Les considérations suivantes rendent compte de l'importance du choix de la densité du courant de transmission de l'énergie.

» La somme des termes variables avec la section qu'il faut défalquer des recettes se compose de deux termes qui sont égaux quand cette somme est minimum, c'est-à-dire quand on adopte la densité de courant la plus profitable. L'intensité du courant étant donnée, la section du cuivre est inversement proportionnelle à la densité de

courant, puisqu'on a

$$i_c = ds.$$

» Le déficit des recettes étant, d'autre part, une somme de deux termes dont l'un est proportionnel, l'autre inversement proportionnel à cette section, on voit tout de suite que les deux termes étant égaux pour la densité la plus profitable et la somme égale au double de l'un d'entre eux, l'un des termes devient double et l'autre moitié, lorsque la densité devient deux fois plus grande ou plus petite que la densité la plus profitable. Les charges annuelles augmentent, de ce fait, de la moitié de l'amortissement du cuivre employé avec la densité la plus profitable.

» Si la densité usitée ne diffère que du tiers de la densité la plus profitable, le transport de l'énergie ne coûte, en plus, que $\frac{1}{24}$ de l'amortissement du cuivre nécessaire avec la densité la plus profitable; pour des densités de plus en plus voisines de la densité la plus favorable, l'écart tend à s'évanouir.

Tension la plus profitable.

» Lorsqu'on considère les divers facteurs qui interviennent dans les formules de la densité la plus profitable, on remarque que l'amortissement des transformateurs n'influe que très faiblement sur la valeur de la densité la plus profitable. Si l'on vend l'énergie au prix très minime de 0,06 fr le kilowatt-heure, le kilowatt-an engendré de 2000 heures revient à 120 fr; même au prix moyen de 100 fr le kilowatt installé, l'amortissement des transformateurs par dixième ne peut donc modifier notablement la densité la plus profitable. Cette densité étant choisie, on peut se poser cette question : quelle est, pour un transport d'énergie à une distance donnée, la tension la plus profitable de transmission ?

» Lorsqu'on transmet l'énergie par transformateurs au départ et à l'arrivée, les génératrices étant choisies, on sait que le rendement de la ligne est d'autant meilleur que la tension de transmission est plus élevée, mais le prix des transformateurs, au départ et à l'arrivée, croît avec la tension choisie; on conçoit donc qu'il existe une tension optima pour le transport. Avec les notations précédentes, le prix d'un transformateur peut se mettre sous la forme

$$P\pi_1 + A,$$

A étant l'augmentation de dépenses provenant de l'accroissement du prix dû au voltage; elle peut s'écrire

$$A = P\pi_1 fU,$$

où U est la tension de transformation, f un facteur de proportionnalité qui dépend de la construction et du constructeur de transformateurs.

» Si π_1 représente le prix d'installation du watt de transformateur pour un rapport de transformation égal à l'unité et si U est exprimé en volts, f représente l'accroissement relatif de prix par watt et par volt. $P\pi_1 fU$ est l'augmentation de prix du transformateur de puissance P , si le voltage augmente de U .

» Le bénéfice de l'entreprise devient alors, en remplaçant i_s par sa valeur ds ,

$$(1) \quad \left\{ \begin{aligned} & \left[P - \frac{k_1 + k_2}{100} P + \frac{k_1 k_2}{100^2} P - \left(1 - \frac{k_2}{100} \right) N r l s \delta^2 \right] T p_1 \\ & - P(\pi \alpha + T p) - \left(P - \frac{k_1}{100} P \right) \pi_1 \alpha_1 (1 + f U_1) \\ & - \left[P - \frac{k_1 + k_2}{100} P + \frac{k_1 k_2}{100^2} P - \left(1 - \frac{k_2}{100} \right) N r l s \delta^2 \right] \pi_2 \alpha_2 (1 + f U_2) \\ & - m l b - m' l - N n l s b - G, \end{aligned} \right.$$

avec la relation

$$(2) \quad \left(P - \frac{k_1}{100} P \right) = U' s \delta g.$$

» Il s'agit, en définitive, de déterminer une valeur approchée de la tension. Nous simplifierons légèrement le problème de la façon suivante :

» Dans les relations (1) et (2), U_1 et U_2 sont des variables différentes. Nous confondrons U_1 et U_2 avec une tension moyenne U . Le problème se ramène alors au suivant : rendre minimum la somme des termes de la somme (1) contenant les variables s et U , c'est-à-dire

$$\begin{aligned} B = & \left(1 - \frac{k_2}{100} \right) N r l s \delta^2 (T p_1 - \pi_2 \alpha_2) + \left(P - \frac{k_1}{100} P \right) \pi_1 \alpha_1 f U \\ & + \left(P - \frac{k_1 + k_2}{100} P + \frac{k_1 k_2}{100^2} P \right) \pi_2 \alpha_2 f U + N n l s b \end{aligned}$$

» Nous ne faisons pas figurer le terme $\left(1 - \frac{k_2}{100}\right) N r l s \delta^2 \pi_2 \alpha_2 f U$, car il contient le produit des variables $s U$ qui est constant d'après (2).

» Si l'on transmet l'énergie à la densité la plus favorable δ , on a la relation

$$\left(1 - \frac{k_2}{100}\right) r \delta^2 (T p_1 - \pi_2 \alpha_2) = n b,$$

de sorte qu'il s'agit de rendre minimum

$$2 N n l s b + \left[P \left(1 - \frac{k_1}{100}\right) \pi_1 \alpha_1 + P \left(1 - \frac{k_1 + k_2}{100} + \frac{k_1 k_2}{100^2}\right) \pi_2 \alpha_2 \right] f U.$$

Cette somme se composant de deux termes dont le produit est constant, est minimum quand les deux termes sont égaux, c'est-à-dire en négligeant $\frac{k_1}{100}$ et $\frac{k_2}{100}$ devant l'unité, quand on a

$$(3) \quad 2 N n l s b = P (\pi_1 \alpha_1 + \pi_2 \alpha_2) f U.$$

» Si l'on remplace P en fonction de sa valeur $P = U s \delta g$, on voit que la tension la plus profitable pour la transmission de l'énergie devient

$$(4) \quad V = \sqrt{\frac{2 N n l b}{(\pi_1 \alpha_1 + \pi_2 \alpha_2) f \delta g'}}.$$

» *La tension la plus profitable est en particulier proportionnelle à la racine carrée de la distance et indépendante de la puissance, si elle ne fait pas varier le prix des transformateurs.*

» La condition (3) peut s'énoncer ainsi : si l'on se donne la densité du courant à transmettre, *la tension la plus favorable de transmission de l'énergie est telle que l'amortissement de l'augmentation de prix des transformateurs de départ et d'arrivée dû à l'accroissement de la tension est égal au double de l'amortissement des câbles qui transmettent le courant.*

» Lorsqu'on consulte les catalogues des constructeurs ou ces derniers eux-mêmes, on constate que le facteur f varie suivant les circonstances de 2×10^{-8} à $1,6 \times 10^{-6}$.

» Nous supposons que l'on transmette l'énergie par courants triphasés avec un facteur de puissance 0,75, de sorte que

$$g = 0,75 \times \sqrt{3} = 1,3,$$

avec $N = 3$ fils de ligne en cuivre à 2500 fr la tonne à pied-d'œuvre, c'est-à-dire 22,50 fr le kilomètre de fil de 1 mmq de section amorti au taux $b = 0,08$.

» Dans le premier cas, c'est-à-dire pour $f = 2 \times 10^{-5}$ et pour une distance de 1 km, avec la densité 1, la tension de transmission entre fils d'un système triphasé est de 7825 volts, avec des transformateurs au départ et à l'arrivée amortis au taux $a_1 = a_2 = 0,1$ revenant à un prix moyen de $\frac{\pi_1 + \pi_2}{2} = 30$ fr le kilowatt installé. Elle est de 4265 volts avec des transformateurs à 100 fr le kilowatt moyen et de 3011 volts avec des transformateurs à 200 fr le kilowatt moyen installé. On voit donc qu'avec des transformateurs de cette construction, la tension la plus profitable est, dans la grande majorité des cas, bien au-dessous de la plus haute tension physiquement et pratiquement réalisable. *Ce ne sont pas les conditions physiques qui limitent la tension, mais les conditions économiques.*

» Au contraire, si l'on adopte des transformateurs de la seconde construction où $f = 1,6 \times 10^{-6}$ avec la densité 1, la tension de transmission à 1 km est de 27 000 volts, avec des transformateurs au prix moyen de 30 fr le kilowatt. Elle est de 15 000 volts avec des transformateurs au prix moyen de 100 fr et de 10 660 volts avec des transformateurs au prix moyen de 200 fr le kilowatt.

» Dans ces conditions, *il est rationnel, pour une distance de quelques dizaines de kilomètres, d'employer une tension de transmission aussi élevée que possible limitée uniquement par les conditions physiques.*

» Dans le cas où le transport d'énergie se fait par génératrice à haute tension sans transformateurs au départ, la tension la plus économique prend la forme

$$U = \sqrt{\frac{2 N n l b}{(\pi a \rho_1 + \pi' a' \rho_2) g \delta}},$$

la facteur ρ_1 se rapportant à l'accroissement de prix de la génératrice, ρ_2 à l'accroissement de prix des transformateurs comme il a été défini précédemment. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Swingedauw.

**NOUVEAU DISPOSITIF DE DYNAMO A TENSION PRATIQUEMENT CONSTANTE
ET A VITESSE VARIABLE APPLICABLE A L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.**

M. LOPPÉ. — « Dans la remarquable conférence que M. Jacquin a faite en mai 1902 devant la Société, les généralités de la question de l'éclairage des trains ont été étudiées ; nous nous bornerons donc à décrire le nouveau système *Loppé-Compagnie générale d'Électricité de Creil*, que l'on peut classer dans la catégorie de ceux ayant une

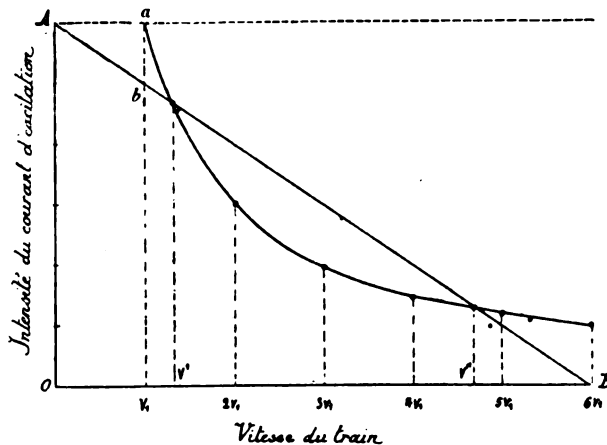


Fig. 1. — A. Courbe d'intensité du courant en fonction de la vitesse du train.
B. Intensité d'excitation en fonction de la vitesse du train avec emploi de dévoltrice.

dynamo dont la vitesse est proportionnelle à celle du train, avec réglage électrique de la tension.

» La dynamo génératrice est actionnée par un des essieux de la voiture et une batterie d'accumulateurs assure l'éclairage pendant les arrêts et pendant les périodes où la vitesse du train est inférieure à la vitesse V_1 , pour laquelle la dynamo doit entrer en fonctionnement.

» Pour obtenir la constance absolue de la tension de la dynamo pour toute vitesse du train supérieure à V_1 , il faudrait (cette dynamo travaillant dans la partie en ligne droite de sa caractéristique à vide et en faisant abstraction de la réaction d'induit) que l'intensité de son courant d'excitation varie en raison inverse de la vitesse.

» Si l'on trace (*fig. 1*) la courbe donnant l'intensité du courant

en fonction de la vitesse du train (ou du nombre de tours par minute de la dynamo, qui lui est proportionnel) on obtient une branche d'hyperbole équilatère.

» Supposons que l'on ait à sa disposition une source à potentiel constant (par exemple une batterie d'accumulateurs de grande capacité, fournissant un courant de faible intensité) et que l'on branche (*fig. 2*) le circuit d'excitation de la génératrice aux bornes

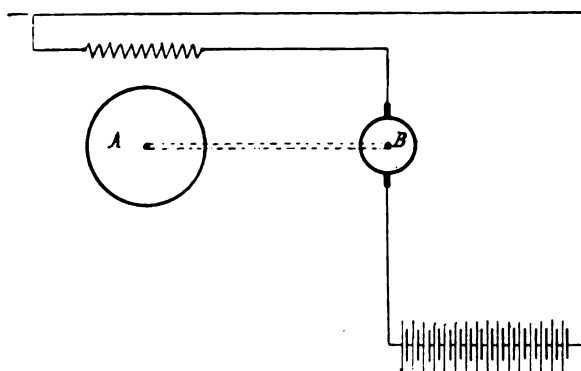


Fig. 2. — SCHÉMA DU MONTAGE DE LA DÉVOLTRICE.

de cette source. Si l'on intercale dans ce circuit l'induit d'une petite dynamo auxiliaire *B*, dont la vitesse est également proportionnelle à celle du train (elle peut, par exemple, être montée sur le même arbre que la génératrice) de manière que sa tension soit opposée à celle de la batterie, c'est-à-dire qu'elle agisse comme dévoltrice ; dans le cas où son excitation reste constante, sa tension est proportionnelle à la vitesse du train.

» La tension agissant dans le circuit d'excitation de la génératrice et par conséquent l'intensité du courant d'excitation, diminuera dans ce cas proportionnellement à la vitesse du train. L'intensité d'excitation en fonction de la vitesse du train sera représentée (*fig. 1*) par une ligne droite inclinée *AB*. *OA* représente l'intensité du courant d'excitation quand la dynamo auxiliaire ne fonctionne pas et *ab*, l'intensité du courant dans le circuit dans le cas où la dynamo auxiliaire tournant à la vitesse correspondant à la vitesse V_1 du train agirait seule dans ce circuit. En choisissant convenablement la résistance du circuit d'excitation de la génératrice et l'excitation de la dynamo auxiliaire, on peut faire en sorte que la droite *AB*

coupe la branche d'hyperbole en deux points correspondant aux vitesses V' et V'' du train.

» Il est facile de voir que dans ces conditions, tant que le train a une vitesse comprise entre V_1 et V' , la tension de la génératrice est inférieure à la normale; quand la vitesse du train est comprise entre V' et V'' la tension est supérieure à la normale et à partir de la vitesse V'' la tension devient inférieure à la normale; elle s'annule pour une vitesse correspondant à OB puis s'inverse.

» Par ce moyen, tant que la vitesse du train ne dépasse pas une valeur donnée, on obtient un certain réglage de la tension.

» Dans le cas où la tension aux bornes de la source varie avec la tension aux bornes de la génératrice, par exemple quand la batterie est chargée par la dynamo, la régulation est moins bonne si l'excitation de la dynamo auxiliaire reste constante. On peut cependant arriver à un réglage convenable, en faisant en sorte que la tension de la dynamo auxiliaire dévoltrice croisse en même temps que la tension de la génératrice (ou de la batterie).

» Pour cela on a deux moyens à sa disposition :

» 1° On peut brancher l'excitation de la dynamo dévoltrice aux bornes de la batterie.

» 2° On peut faire circuler le courant de charge de la batterie dans l'enroulement d'excitation de la dévoltrice.

» On peut au besoin combiner les deux systèmes, c'est-à-dire employer pour la dévoltrice les deux genres d'excitation.

» Le second mode de réglage donne une régulation excellente; en effet, l'intensité du courant de charge d'une batterie croît beaucoup plus rapidement que la tension aux bornes, de sorte que le dévoltage est très énergique quand la tension de la dynamo tend à croître. Si l'on désigne par U la tension de charge, par E la force contre-électromotrice de la batterie, par r sa résistance intérieure et par I l'intensité du courant, on a

$$I = \frac{U - E}{r};$$

comme à un moment donné E et r peuvent être considérés comme des constantes et que la valeur de r est très faible par rapport à celle de E , on voit que I augmente beaucoup plus rapidement que U . En pratique quand la tension aux bornes d'un élément passe par

exemple de 2,20 à 2,42 volts, c'est-à-dire augmente de 10 pour 100, l'intensité du courant de charge est plus que doublée.

» Le schéma de la figure 3 montre l'installation du système de

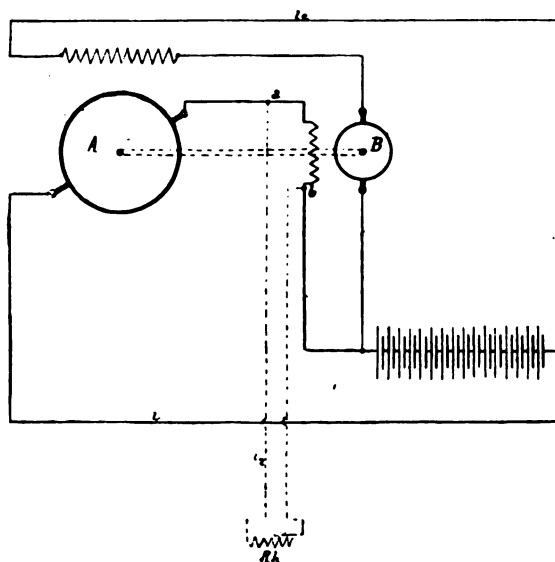


Fig. 3. — SCHÉMA DU SYSTÈME DE RÉGULATION.

régulation, *A* est la dynamo génératrice et *B* la dynamo auxiliaire dévoltrice montée sur le même arbre. La courbe *i* de la figure 4 donne la variation de l'intensité du courant fourni par la dynamo, la courbe *i_b* l'intensité du courant de charge de la batterie, la différence entre les deux courbes représentant l'intensité *i_e* du courant d'excitation de la génératrice, en fonction du nombre de tours de l'arbre des dynamos. Le système commence à fonctionner pour 340 tours à la minute (ce qui correspond à une vitesse du train d'environ 17 km à l'heure, en admettant un rapport de 3 pour les vitesses de l'essieu et de l'arbre). On voit que l'intensité du courant de charge à partir de 1600 tours par minute (correspondant à une vitesse du train de 80 km à l'heure), peut être considérée comme pratiquement constante. L'essai entrepris sur le groupe provisoire a été poussé jusqu'à 2600 tours par minute (correspondant à une vitesse du train d'environ 130 km à l'heure). En faisant varier le rapport des diamètres des poulies de transmission, on peut faire en sorte que le système fonctionne pour d'autres vitesses du train. A des vitesses supérieures l'intensité a tendance à baisser, mais

très légèrement. Il ne peut naturellement se produire ni annulation ni inversion du courant et de la tension.

» En employant tout simplement ce système de régulation, on voit que l'on peut maintenir l'intensité du courant de charge pratiquement constante, mais on ne peut proportionner la quantité d'électricité fournie à la batterie pendant les périodes où le train a une vitesse supérieure à V_1 , à la quantité d'électricité qu'elle doit fournir pendant les périodes où la vitesse du train est nulle ou inférieure à V_1 , c'est-à-dire que l'intensité du courant de charge est fixée une fois pour toutes. Un dispositif très simple permet de faire varier à volonté l'intensité du courant de charge; il consiste à brancher, en dérivation (comme il est indiqué en pointillé sur la figure 3), entre les bornes a et b de l'enroulement d'excitation de la dynamo auxiliaire dévoltrice, un conducteur dans lequel un rhéostat Rh est intercalé.

» L'intensité i_1 du courant d'excitation de la dynamo dévoltrice reste encore pratiquement constante, mais il passe en même temps dans la dérivation un courant dont l'intensité i_2 est à chaque instant proportionnelle à i_1 , le rapport de proportion dépendant du rapport de la résistance de l'enroulement à celle du rhéostat d'excitation.

» Si r_1 est la résistance de l'enroulement d'excitation, et r_2 celle du rhéostat, on a :

$$r_1 i_1 = r_2 i_2, \quad i_2 = \frac{r_1 i_1}{r_2}.$$

» L'intensité du courant de la dynamo (dont une partie peut servir à l'éclairage et une autre partie sert à l'excitation de la génératrice) est donc $i = i_1 + i_2 = i_1 \frac{1+r_1}{r_2}$, elle varie donc proportionnellement à i_1 , et, à partir d'une certaine vitesse du train, elle reste aussi pratiquement constante. On est maître, en agissant sur le rhéostat, de faire varier à volonté la valeur de i_2 . La courbe i' de la figure 4 donne l'intensité du courant fourni par la dynamo, la courbe i'_b l'intensité du courant de charge de la batterie en fonction de la vitesse du train (la différence entre i'_b et i donne l'intensité i'_c du courant d'excitation) pour une résistance fixe du rhéostat.

» L'intensité i_2 peut varier de 0 (le circuit dérivé étant coupé) à un maximum pratique quelconque pour lequel la résistance du

rhéostat est minimum, on est donc absolument maître de l'intensité du courant de charge. Le circuit d'éclairage étant dérivé des bornes de la batterie, si l'intensité du courant, dans ce circuit, reste constante (c'est-à-dire dans le cas où on n'éteint pas la lampe, ou bien quand une lampe éteinte est remplacée par une résistance

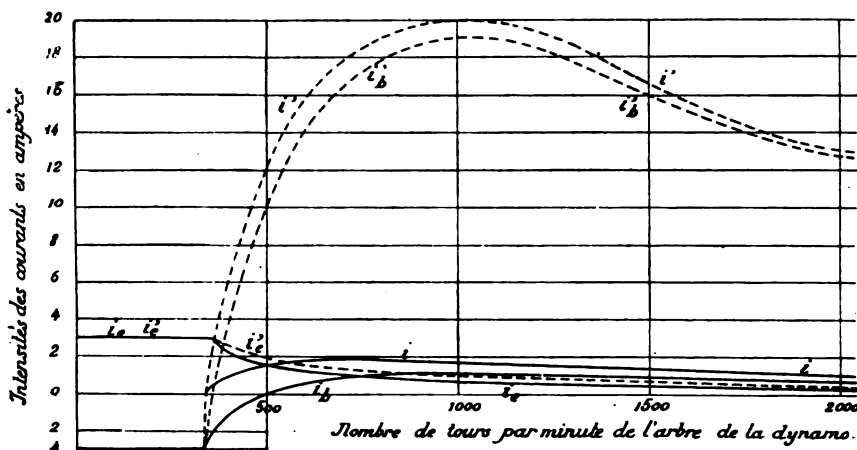


Fig. 4. — COURBE DES INTENSITÉS EN FONCTION DE LA VITESSE DU TRAIN.

équivalente), on peut, pour un parcours donné de la voiture, connaissant le nombre d'heures pendant lesquelles la batterie doit assurer seule l'éclairage, et le nombre d'heures pendant lesquelles la recharge peut être effectuée, régler la résistance du rhéostat de manière que l'intensité $i_1 + i_2$ soit égale à l'intensité i_1 nécessaire pour l'éclairage, augmentée de l'intensité nécessaire pour la recharge i_b , et celle i_e nécessaire pour l'excitation de la génératrice. On a alors $i = i_1 + i_2 = i_1 + i_b + i_e$ et i est pratiquement constant, i_e et i_1 restent constants, i_b est constant, et l'on est sûr de la quantité dont la batterie se recharge.

» Dans le cas où l'on peut éteindre des lampes, i_1 n'est plus constant, et le courant de charge, dont l'intensité est i_b , peut varier dans d'assez grandes proportions. Pour remédier à cet inconvénient, on a adopté les dispositions suivantes, avec lesquelles, du reste, la régularité de la tension aux lampes est plus grande.

» L'un des conducteurs principaux du circuit d'éclairage (fig. 5) est relié directement au pôle d de la batterie, tandis que l'autre conducteur principal est relié d'une part au pôle c de cette dernière par l'intermédiaire d'un interrupteur I_{n3} , et, d'autre part; directe-

ment au point c du circuit de la dynamo en avant de l'enroulement d'excitation ab de la dynamo auxiliaire. Quand l'interrupteur I_{n3} est

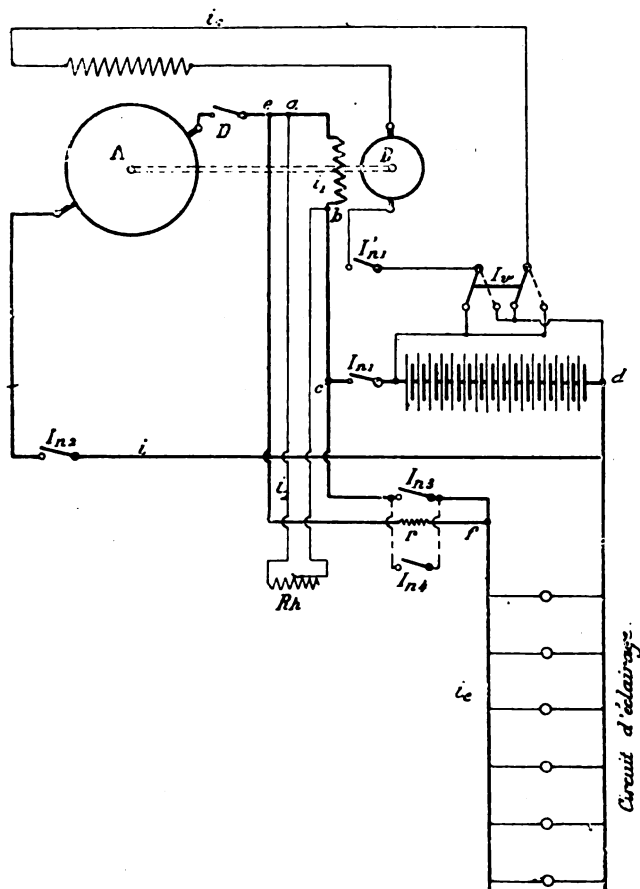


Fig. 5. — SYSTÈME COMPLET DE RÉGULATION.

- A. Dynamo génératrice.
- B. Dynamo auxiliaire dévoltrice.
- D. Disjoncteur à maximum.
- I'_{n1} . Interrupteur actionné par l'appareil à force centrifuge dès que le train se met en marche (ou au besoin manœuvré à la main).
- I_{n1} . Interrupteur général manœuvré à la main.
- I_{n2} . Interrupteur actionné par l'appareil à force centrifuge servant de conjoncteur-disjoncteur.
- I_{n3} . Interrupteur actionné par l'appareil à force centrifuge rompant la communication directrice entre la batterie et le circuit d'éclairage quand la vitesse V_1 est atteinte.
- I_{n4} . Interrupteur de secours manœuvré à la main.

fermé, l'éclairage de la voiture est assuré par la batterie ; quand I_{n3} est ouvert, l'éclairage est assuré directement par la dynamo, et

indépendamment de la régulation. L'intensité du courant d'éclairage peut donc alors varier, tandis que l'intensité du courant de charge de la batterie reste constante.

» L'interrupteur I_{n3} est installé de telle sorte qu'il reste fermé tant que la vitesse du train est inférieure à V_2 , et qu'il soit ouvert automatiquement pour des vitesses supérieures. V_2 est un peu plus grand que V_1 , vitesse à laquelle la dynamo entre automatiquement en fonctionnement. Donc, aux arrêts et tant que la vitesse du train n'a pas atteint la valeur V_1 , l'éclairage est assuré par la batterie ; entre les vitesses V_1 et V_2 (très voisines), il est assuré simultanément par la batterie et la dynamo, et, pour des vitesses supérieures à V_2 , par la dynamo seule.

» Comme la tension de la batterie en charge et par conséquent celle de la dynamo est plus élevée que la tension lors de la décharge, on intercale dans le conducteur ef reliant directement le circuit d'éclairage à la dynamo une résistance r , provoquant une légère chute de tension, de sorte que la tension aux lampes varie très peu.

» Dans le cas où l'on doit pouvoir éteindre des lampes, au lieu de disposer un conducteur unique, ef , on installera un réseau partant du point f et aboutissant aux lampes. Sur chaque branche desservant des lampes devant fonctionner simultanément on disposera une résistance appropriée. La chute de tension est alors la même pour toutes les lampes, quel que soit le nombre de ces dernières allumées.

» Il est bon d'employer le dispositif d'éclairage direct par la dynamo même dans le cas où l'intensité reste constante dans le circuit d'éclairage, car on a une plus grande régularité de tension aux lampes.

» Il y a lieu de remarquer que la régulation a aussi bien lieu quand la vitesse du train est inférieure à V_1 que quand elle lui est supérieure. En effet, si la tension de la dynamo tend à baisser, l'intensité du courant de charge diminue, de sorte que le dévoltage diminue et l'intensité du courant d'excitation de la dynamo tend à croître. Si la batterie se décharge dans la dynamo, la dynamo auxiliaire devient survoltrice et ajoute sa tension à celle de la batterie pour l'excitation de la dynamo, ce qui tend à relever la tension de celle-ci.

» Il n'y a donc aucun danger à craindre, même dans le cas où la disjonction se ferait à une vitesse bien inférieure à V_1 , et l'on peut

employer un appareil basé sur l'action de la force centrifuge pour commander automatiquement l'interrupteur I_{n2} servant de conjoncteur disjoncteur. On obtient ainsi un appareil mécanique plus robuste, d'un fonctionnement plus sûr et revenant bien meilleur marché qu'un conjoncteur-disjoncteur à commande électrique; le même appareil actionne l'interrupteur I_{n3} rompant, quand la vitesse V_2 est atteinte, la communication directe entre la batterie et le circuit d'éclairage et peut au besoin commander l'interrupteur du circuit d'excitation de la dynamo.

» L'appareil à force centrifuge est construit de la manière suivante: Un régulateur à boules est monté sur le prolongement de l'arbre des dynamos et l'action de la force centrifuge est combattue par un ressort R (fig. 6). Quand la voiture est en marche, l'action de la

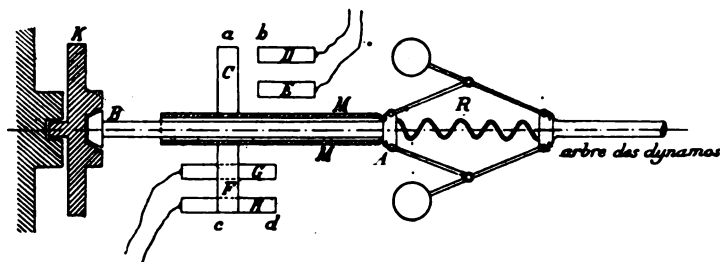


Fig. 6. — RÉGULATEUR A FORCE CENTRIFUGE.

force centrifuge fait déplacer plus ou moins de gauche à droite l'extrémité AB de l'arbre, qui tourne. Autour de cette partie de l'arbre, est disposé un manchon M monté à billes, qui participe au mouvement de translation longitudinal mais n'est pas entraîné dans le mouvement de rotation; ce manchon porte en principe deux couteaux C et F . Le couteau C peut relier deux pièces de contact D et E et le couteau F deux pièces G et H . Les pièces D et E et le couteau C constituent l'interrupteur I_{n2} remplissant l'office de conjoncteur-disjoncteur et les pièces G et H et le couteau F , l'interrupteur I_{n3} .

» Quand le train est au repos, le couteau C ne touche pas les pièces D et E , il ne vient les relier que quand, sous l'action de la force centrifuge, le manchon s'est déplacé de la longueur ab , l'interrupteur I_{n2} est alors fermé. Au repos G et H sont reliés par le couteau C , et le contact ne cesse que quand le manchon s'est déplacé de la longueur cd , un peu plus grande que ab .

» Le déplacement ab du manchon correspond à la vitesse V_1 de la voiture et le déplacement cd , à la vitesse V_2 .

» Il faut naturellement que la tension de la dynamo soit opposée à celle de la batterie, quel que soit le sens de marche de la voiture. On peut arriver à ce résultat de diverses manières : par exemple en faisant en sorte que les balais des deux dynamos se déplacent de 180 degrés quand le sens du mouvement de la voiture s'inverse; l'adoption de ce système présente l'inconvénient d'exiger que les balais exercent une forte pression sur les collecteurs, afin d'être à même d'entraîner les couronnes porte-balais; il en résulte un grand échauffement des collecteurs et une forte usure des balais.

» Nous avons préféré inverser les connexions entre les bornes de la batterie et les extrémités du circuit d'excitation de la génératrice, quand le sens du mouvement de la voiture change.

» L'inversion s'effectue de la manière suivante : l'extrémité de l'arbre de l'appareil à force centrifuge (*fig. 6*) porte un manchon conique B qui pénètre dans un logement pratiqué dans une pièce K pouvant tourner autour d'un axe placé dans le prolongement de l'arbre des dynamos.

» Le mouvement de la pièce K qui joue le rôle d'inverseur est limité de part et d'autre par des butées. Quand la voiture est au repos, le ressort R appuie fortement la pièce B dans son logement conique, et, dès que la voiture avance, l'inverseur K est entraîné dans un sens ou dans l'autre jusqu'à ce que la butée correspondante l'arrête. Suivant le sens du mouvement de la voiture, la pièce K s'incline donc d'un côté ou de l'autre, établissant les connexions voulues. Dès que la voiture a acquis une vitesse, même faible, l'action de la force centrifuge entraîne l'arbre AB , de sorte que le manchon B ne frotte plus contre la pièce K de l'inverseur.

» Le fonctionnement du système est le suivant : la résistance du rhéostat Rh étant réglée à la valeur voulue, quand on veut assurer l'éclairage de la voiture, on ferme à la main l'interrupteur I_{n1} , qui, au besoin, peut être disposé de manière que l'on ait dû, au préalable, fermer l'interrupteur I'_{n1} du circuit d'excitation de la génératrice, de sorte que cette dernière soit immédiatement excitée.

» On peut également, comme nous l'avons fait pour le groupe d'essai que nous avons réalisé, faire fermer et ouvrir le circuit d'exci-

tation de la génératrice par l'appareil à force centrifuge, quand le train commence à se mettre en mouvement.

» Ce dernier mode de procéder a l'avantage de ne pas exiger une dépense de courant pour l'excitation lorsque la machine est au repos.

» Il y a cependant lieu de remarquer que l'on peut faire en sorte que i_e soit très faible, même quand la dévoltrice n'agit pas, de manière que la dépense de courant pendant les arrêts soit négligeable. Une fermeture à la main du circuit semble préférable, car au moment de la fermeture et de la rupture la tension dans le circuit a sa valeur maximum.

» Quand le train a acquis la vitesse V_1 , l'interrupteur I_{n2} se ferme, puis quand la vitesse V_2 est atteinte, l'interrupteur I_{n3} s'ouvre et la dynamo assure l'éclairage.

» Les courbes de la figure 7 donnent des intensités i du courant

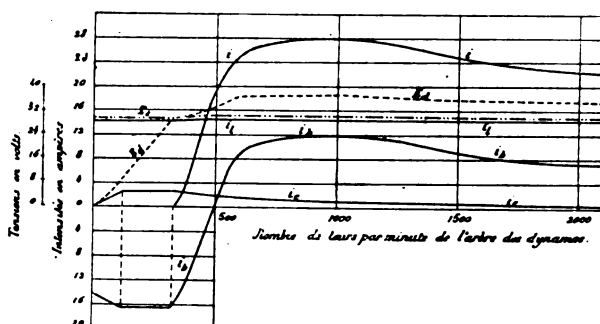


Fig. 7. — i . Intensité du courant de la dynamo.

i_l .	—	d'éclairage.
i_b .	—	de la batterie (décharge et charge).
i_e .	—	d'excitation de la génératrice.
E_d .	Tension aux bornes de la dynamo et de la batterie.	
E_c .	—	du circuit des lampes.

total de la dynamo, i_b du courant de charge de la batterie, i_l du courant d'éclairage et la tension E_d aux bornes de la dynamo et E_c dans le circuit d'éclairage en fonction de la vitesse du train pour une valeur donnée de la résistance du rhéostat de réglage.

» Une augmentation de la tension de la dynamo génératrice n'est guère à craindre; en effet, il faudrait pour cela que l'excitation de la dévoltrice fût interrompue, et alors, en général, le circuit de la génératrice serait également interrompu; du reste, dans ce cas, le disjoncteur à maximum ouvrirait le circuit ou le plomb fondrait.

» Un dérangement à craindre serait celui où le circuit d'excitation de la génératrice viendrait à être interrompu, par exemple par suite de non contact des balais de la dynamo dévoltrice avec le collecteur. Dans ce cas la batterie commencerait à se décharger dans la dynamo, mais le disjoncteur à maximum ouvrirait alors le circuit et la batterie seule devrait assurer l'éclairage. Comme alors, pour une vitesse du train supérieure à V_2 , l'interrupteur I_{n3} est ouvert, la résistance r serait intercalée dans le circuit d'éclairage et serait nuisible au bon éclairage. On a prévu un interrupteur I_{n4} (représenté en pointillé sur le schéma) qui peut être fermé à la main et rétablir la communication directe du circuit d'éclairage avec la batterie.

» Dans ce cas, naturellement, on éteindrait toutes les lampes non indispensables, de manière que la batterie puisse assurer l'éclairage jusqu'à l'arrêt suivant.

» Quand une voiture aura à assurer un service régulier, on pourra régler une fois pour toutes la résistance du rhéostat de réglage et ne plus y toucher. Quand le service varie, on règle naturellement la résistance en conséquence.

» Si la batterie était sulfatée on pourrait, par exemple, lui faire subir pendant toute une journée une faible charge, etc. En somme, on est absolument maître de faire varier la charge dans de grandes proportions; elle se maintient alors pratiquement constante. Le réglage de la charge est aussi facile, sinon plus facile, que dans le cas où elle s'effectue à poste fixe.

» Les avantages du système sont les suivants :

» 1° On n'emploie qu'une seule batterie, c'est-à-dire que l'on réduit les frais d'entretien, car une batterie, même en ne fonctionnant pas tout le temps, se détériore par les vibrations.

» 2° La batterie peut avoir la capacité strictement nécessaire pour assurer l'éclairage pendant les arrêts et les périodes où le train n'a pas atteint la vitesse V_1 ; il y a donc économie de poids, de prix d'achat et de dépenses d'entretien. D'autant plus que l'on n'a pas à craindre de surcharger la batterie et que l'on peut s'arranger pour que la charge soit toujours suffisante.

» 3° On évite l'emploi de conjoncteur-disjoncteur électrique; l'appareil à force centrifuge est à la fois d'un prix moins élevé, plus

robuste et d'un fonctionnement plus sûr qu'un appareil actionné électriquement.

» Les interrupteurs actionnés par l'appareil à force centrifuge sont placés dans de très bonnes conditions de fonctionnement. En effet, I_{n2} ferme et ouvre le circuit quand la tension de la dynamo est égale à celle de la batterie, c'est-à-dire quand aucun courant ne peut circuler. L'interrupteur I_{n3} est en somme shunté par le conducteur ef reliant directement la dynamo au circuit d'éclairage.

» 4° La puissance absorbée par la dynamo est constante quelle que soit la vitesse du train, elle n'augmente pas avec la vitesse du train comme dans le cas où la régulation est obtenue au moyen d'un enroulement série démagnétisant.

» La seule complication du système est l'adoption de la dynamo dévoltrice; mais il y a lieu de remarquer que cette dynamo doit avoir une puissance très faible, quelques watts seulement. On peut, en bobinant convenablement les inducteurs de la dynamo génératrice, faire en sorte que le courant d'excitation, même quand la dévoltrice n'agit pas, ait une valeur très faible, par exemple un ampère; dans ce cas l'intensité du courant quand la dévoltrice agit est très faible, environ un ou deux dixièmes d'ampère, la tension dévoltrice ne pouvant atteindre 30 volts, la puissance de la dévoltrice est de 5 à 6 watts au grand maximum. Le collecteur peut être construit solidement, et, vu la faible intensité du courant, on peut facilement faire en sorte de n'avoir pas à craindre les interruptions de contact aux balais.

» Avec ce système, la courbe de l'intensité du courant d'excitation de la dynamo génératrice, en fonction du nombre de tours, se rapproche d'une branche d'hyperbole. Par suite de l'influence de la réaction d'induit, l'intensité pour une vitesse donnée varie avec la charge de la dynamo; plus la charge est élevée, plus l'intensité d'excitation est grande. C'est ce que montrent clairement les courbes de la figure 8. La courbe I se rapporte à la charge, à l'intensité la plus faible sans éclairage, la courbe II à une forte charge avec éclairage simultané et la courbe en pointillé à une charge intermédiaire.

» Les applications du système ne se bornent naturellement pas à l'éclairage des voitures de chemin de fer; on peut s'en servir pour

l'éclairage par moulin à vent, par roue hydraulique, etc., c'est-à-dire dans tous les cas où on a affaire à un moteur dont la vitesse est variable. Naturellement, quand la batterie ne doit pas assurer le service pendant les périodes de non fonctionnement de la dynamo, sa capacité peut être très faible, le circuit de service étant alors directement branché aux bornes de la dynamo.

» Je ne puis terminer sans dire quelques mots des accumulateurs Garcin et Renault, que nous comptons employer. C'est à la suite

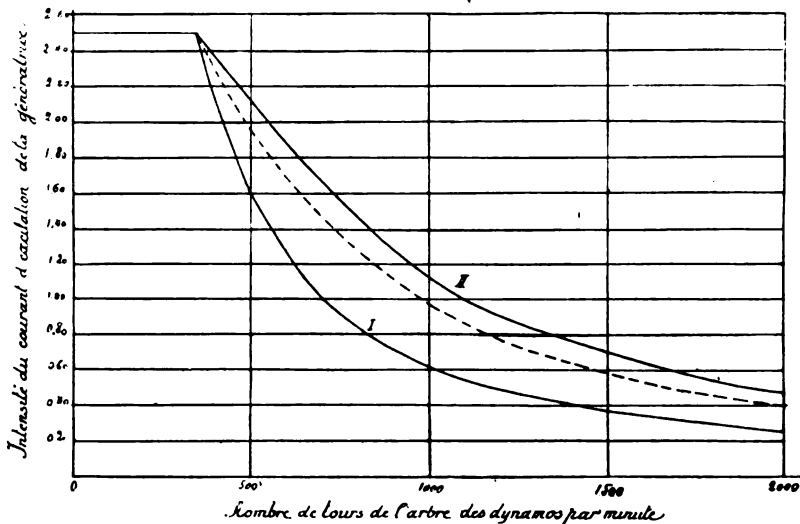


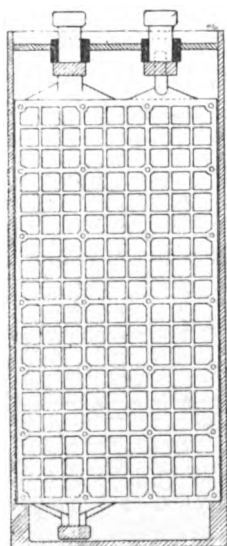
Fig. 8.

d'essais entrepris sur les accumulateurs de ce système qu'ils ont été adoptés. J'ai constaté que la capacité massique rapportée au kilogramme de poids total atteint 14,6 ampères-heures pour un régime de décharge en 7 heures, et 12,4 ampères-heures pour une décharge en 3 heures.

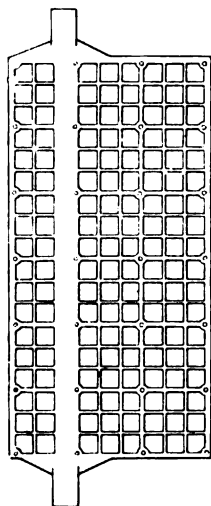
» J'ai également essayé deux éléments choisis au hasard d'une batterie en service depuis 14 mois au régiment des sapeurs-pompiers de Paris, batterie ayant fonctionné tous les jours. La capacité de ces éléments, dans lesquels aucune plaque n'avait été remplacée, n'avait pas baissé de 10 pour 100, pendant cette longue période de service, et les plaques étaient en excellent état. Ce fait est dû à la qualité de la construction de ces accumulateurs d'une part et d'autre part aux soins apportés dans l'entretien des batteries par le service

technique des sapeurs-pompiers, à la tête duquel est M. le commandant ingénieur Cordier.

» Une des caractéristiques des éléments Garcin et Renault est l'installation de la prise symétrique du courant. Le courant de charge arrive à la partie supérieure des plaques positives et ressort par la partie inférieure des plaques négatives. Afin d'éviter de disposer sur toute la hauteur de l'élément un conducteur spécial partant de l'électrode négative, ce qui forcerait à augmenter la section du bac, le courant passe dans les plaques négatives terminales, renforcées sur une certaine largeur à cet effet, comme le montre la figure 9.



Coupe transversale.



Détail d'une plaque de connexion.

Fig. 9. — ACCUMULATEURS GARCIN-RENAULT A RÉPARTITION MÉTHODIQUE DE COURANT.

Les deux plaques négatives terminales (et parfois quand l'élément a un grand nombre de plaques, une ou deux plaques négatives intermédiaires) portent à leur partie supérieure des queues qui sont reliées entre elles par une barre de plomb horizontale sur laquelle est fixée la borne négative de l'élément.

» En terminant permettez-moi d'adresser tous mes remerciements à MM. Rougé et Faget qui ont bien voulu mettre à notre disposition un de leurs altermo-redresseurs, nous permettant ainsi de transformer en courant continu le courant alternatif simple du secteur. Au moyen du courant continu nous pourrions, comme vous allez le

voir, actionner un moteur à vitesse très variable, remplissant le rôle d'essieu de la voiture et actionnant par courroie notre groupe d'essai. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Loppé.

NOTE II.

(ANNEXE A LA COMMUNICATION DE M. DE MARCHENA.)

(Étude de la capacité répartie.)

PREMIER CAS. *La résistance est supposée nulle.* — Supposons d'abord la résistance négligeable et soient :

λ la self-induction par unité de longueur de la canalisation ;

γ sa capacité ;

ω la fréquence des courants considérés.

La réactance et la capacitance par unité de longueur auront respectivement pour valeur

$$\lambda\omega \quad \text{et} \quad \gamma\omega.$$

Soient :

x la distance d'un point M de la canalisation à l'extrémité libre O (supposée n'alimentant aucun récepteur) ;

U et I la tension et le courant au point M ;

E_0 la tension à l'extrémité libre O.

Nous aurons

$$(1) \quad \frac{dI}{dx} = \gamma\omega U,$$

$$(2) \quad \frac{dU}{dx} = -\lambda\omega I.$$

Différentions l'équation (2), il viendra

$$(3) \quad \frac{d^2U}{dx^2} = -\lambda\omega \frac{dI}{dx} = -\gamma\lambda\omega^2 U.$$

L'intégration de l'équation différentielle

$$(3) \quad \frac{d^2U}{dx^2} + \gamma\lambda\omega^2 U =$$

donnera

$$(4) \quad U = C \cos(\chi + \omega x \sqrt{\gamma \lambda}).$$

En exprimant qu'à l'origine la tension $U = E_0$ et que la dérivée $\frac{dU}{dx}$ est nulle, il vient

$$\chi = 0, \quad C = E_0.$$

On obtient donc finalement, pour l'expression de la tension en un point M quelconque :

$$(5) \quad U = E_0 \cos(\lambda \omega \sqrt{\lambda \gamma} x).$$

C'est l'équation d'une sinusoïde.

On a de même

$$(6) \quad I = E_0 \sqrt{\frac{\gamma}{\lambda}} \sin(\lambda \omega \sqrt{\lambda \gamma} x).$$

DEUXIÈME CAS. *La résistance n'est pas négligeable.* — Dans ce cas les courants de charge correspondant à chaque élément Δx de la canalisation ne sont plus en phase entre eux; de même les pertes de tension aux différents points de la canalisation ne sont plus en phase.

Soient :

U la tension en un point quelconque M situé à une distance x de l'origine libre O,
 φ le décalage du voltage par rapport au voltage E_0 au point initial O,
 α le décalage du courant I au point M par rapport au même voltage initial E_0 .

Nous aurons les relations suivantes :

$$(7) \quad \frac{d(U \cos \varphi)}{dx} = -\lambda \omega I \sin \alpha - \gamma I \cos \alpha,$$

$$(8) \quad \frac{d(U \sin \varphi)}{dx} = r I \sin \alpha - \lambda \omega I \cos \alpha,$$

$$(9) \quad \frac{d(I \sin \alpha)}{dx} = \gamma \omega U \cos \varphi.$$

$$(10) \quad \frac{d(I \cos \alpha)}{dx} = \gamma \omega U \sin \varphi.$$

En différentiant les équations (7) et (8) il viendra

$$(11) \quad \frac{d^2 U \cos \varphi}{dx^2} = -\gamma \lambda \omega^2 U \cos \varphi - r \gamma \omega U \sin \varphi,$$

$$(12) \quad \frac{d^2 U \sin \varphi}{dx^2} = r \gamma \omega U \cos \varphi - \gamma \lambda \omega^2 U \sin \varphi.$$

Ajoutons ces deux équations après avoir multiplié les deux membres de la seconde par l'imaginaire i , nous aurons

$$(13) \quad \frac{d^2 (U \cos \varphi + i U \sin \varphi)}{dx^2} = (U \cos \varphi + i U \sin \varphi) \gamma \omega i (r + i \lambda \omega).$$

Posons

$$U(\cos \varphi + i \sin \varphi) = U.$$

Nous aurons finalement la relation

$$(14) \quad \frac{d^2 U_1}{dx^2} = U_1(r + i\lambda\omega) \times i\gamma\omega.$$

Pour intégrer cette équation, posons

$$(15) \quad a + bi = \sqrt{i\gamma\omega(r + i\lambda\omega)}.$$

On en déduira

$$(16) \quad a^2 - b^2 = -\lambda\gamma\omega^2,$$

$$(16)' \quad 2ab = r\gamma\omega.$$

D'où l'on tire

$$a^2 = \frac{1}{2} \left[-\lambda\omega + \sqrt{r^2 + (\lambda\omega)^2} \right],$$

$$b^2 = \frac{1}{2} \left[\lambda\omega + \sqrt{r^2 + (\lambda\omega)^2} \right].$$

L'équation (14) peut alors s'écrire

$$(14)' \quad \frac{d^2 U_1}{dx^2} = (a + bi)^2 U_1,$$

dont l'intégrale générale est

$$(17) \quad U_1 = C e^{(a+bi)x} + C' e^{-(a+bi)x},$$

qui peut s'écrire

$$(17') \quad \begin{aligned} U_1 &= C e^{ax} \times e^{bix} + C' e^{-ax} \times e^{-bix}, \\ e^{bix} &= \cos bx + i \sin bx, \\ e^{-bix} &= \cos bx - i \sin bx. \end{aligned}$$

En portant dans (17'), il viendra

$$(18) \quad U_1 = \cos bx (C e^{ax} + C' e^{-ax}) + i \sin bx (C e^{ax} - C' e^{-ax}).$$

On en déduit

$$(19) \quad U \cos \varphi = \cos bx (C e^{ax} + C' e^{-ax}),$$

$$(19') \quad U \sin \varphi = \sin bx (C e^{ax} - C' e^{-ax}).$$

Pour déterminer C et C' exprimons qu'à l'origine, pour $x = 0$, on a

$$U \sin \varphi = 0,$$

$$U \cos \varphi = E_0,$$

$$\frac{\partial U \cos \varphi}{\partial x} = 0,$$

$$\frac{\partial U \sin \varphi}{\partial x} = 0.$$

Ces relations exigent

$$C = C' = \frac{E_0}{2}.$$

On aura donc, en chaque point pour les composantes de la tension,

$$(20) \quad U \cos \varphi = \frac{E_0}{2} \cos bx (e^{ax} + e^{-ax}),$$

$$(20') \quad U \sin \varphi = \frac{E_0}{2} \sin bx (e^{ax} + e^{-ax}),$$

où a et b ont des valeurs définies par (16) et (16'); $U \cos \varphi$ s'annule pour les valeurs de x annulant $\cos bx$, c'est-à-dire pour

$$(21) \quad bx = \frac{\pi}{2} + k\pi = \frac{\pi}{2} (2k + 1)$$

ou

$$x = \frac{\pi}{2} (2k + 1) \times \frac{1}{b}.$$

A ce moment la tension est très voisine de son minimum; elle se réduit à sa composante $U \sin \varphi$, dont la valeur est alors

$$U \sin \varphi = \frac{E_0}{2} (e^{ax} - e^{-ax}).$$

En remplaçant x par sa valeur tirée de (21), il vient

$$(22) \quad ax = \frac{\pi}{2} (2k + 1) \times \frac{a}{b} = \frac{\pi}{2} (2k + 1) \sqrt{\frac{-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{r}{\lambda\omega}\right)^2}}{+1 + \sqrt{1 + \left(\frac{r}{\lambda\omega}\right)^2}}}.$$

Quand $\frac{r}{\lambda\omega}$ est supérieur à 0,5, l'expression (22) peut s'écrire très sensiblement, en développant les radicaux en série et se bornant à la première puissance de $\frac{r}{\lambda\omega}$,

$$(22') \quad ax = \frac{\pi}{4} (2k + 1) \frac{r}{\lambda\omega},$$

et, par suite,

$$U \sin \varphi = \frac{E_0}{2} \left(e^{\frac{\pi}{4} (2k + 1) \frac{r}{\lambda\omega}} - e^{-\frac{\pi}{4} (2k + 1) \frac{r}{\lambda\omega}} \right).$$

La partie entre parenthèses est inférieure à

$$\frac{\pi}{2} (2k + 1) \frac{r}{\lambda\omega},$$

expression obtenue en se bornant dans le développement de e^x à la première puissance de $\frac{r}{\lambda\omega}$.

De telle sorte qu'on a, finalement,

$$U \sin \varphi > E_0 \times \frac{\pi}{4} (2k + 1) \frac{r}{\lambda\omega}.$$

Les minima correspondant aux valeurs de x satisfaisant à l'équation (21) iront en croissant au fur et à mesure que k augmentera. Le premier minimum sera donc de beaucoup le moindre.

Supposons $\frac{r}{k\omega} = 0,5$ (résistance égale à la moitié de la réactance), on aura très sensiblement :

Pour $k = 0$

Premier minimum de $U = 0,4 E_0$;

Pour $k = 1$

Deuxième minimum de $U = 1,2 E_0$, etc.

Par conséquent, le second point bas possédera une tension déjà supérieure à la tension à l'origine.

La valeur absolue de la tension est donnée en chaque point par

$$U = \sqrt{(U \cos \varphi)^2 + (U \sin \varphi)^2} = \frac{E_0}{2} \sqrt{(e^{2ax} + e^{-2ax}) + 2(\cos^2 bx - \sin^2 bx)}.$$

Cette équation comprend une partie croissant constamment avec x et une partie variant périodiquement entre le même maximum et le même minimum; la courbe correspondante présentera une série d'ondulations dont les points bas seront espacés de la demi-longueur d'onde $l = \frac{\pi}{b}$, les voltages en ces points bas allant en croissant au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'origine.

A la limite, cette courbe tendra à se confondre avec la courbe exponentielle $U = \frac{E_0}{2} e^{ax}$.

La séance est levée à 10^h55^m du soir.

ERRATA AU BULLETIN DE MAI.

OBSERVATIONS DE M. BOUCHEROT.

Page 343, ligne 1, *au lieu de* ma définition, *lire* mon affirmation.

Page 343, ligne 3, *au lieu de* une bobine, *lire* cette bobine.

Page 343, ligne 17, *au lieu de* C, *lire* p.

Page 344, ligne 2, *au lieu de* $n = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{r}{6}}$, *lire* $n = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{r}{b}}$.

CORRESPONDANCE.

AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS.

New-York, le 5 mai 1904.

*Monsieur le Président de la Société internationale des Électriciens,
Paris.*

MONSIEUR,

J'ai le plaisir de vous soumettre ci-dessous le programme préparé par le Comité de Réception de l'Institut Américain des Ingénieurs électriciens.

Ce programme a trait à la réception des hôtes officiels du Comité : l'*Institution of Electrical Engineers*, et les représentants et délégués d'autres Sociétés étrangères, se proposant d'assister au Congrès électrique International de Saint-Louis, du 12 au 27 septembre 1904.

En vue de fournir aux visiteurs et délégués étrangers assistant au Congrès une occasion favorable de visiter les villes importantes des États-Unis à l'est du Mississippi, les principaux centres manufacturiers et les diverses localités où sont situées nombre des plus grandes Stations centrales électriques, l'Institut Américain des Ingénieurs électriciens a projeté un voyage circulaire, dont j'ai l'honneur de vous soumettre ci-dessous le programme :

Dimanche, 4 septembre 1904. — Ville de New-York.

Cette journée sera consacrée à une excursion en bateau à vapeur sur l'Hudson River, si possible jusqu'à West-Point, pour montrer aux voyageurs les beautés de l'Hudson River et les environs de New-York.

Lundi, 5 septembre.

Les visiteurs seront reçus par les corporations représentant les Industries électriques de la ville de New-York, entre autres : visite des Stations centrales de la *Rapid Transit Subway Company*, de la *Manhattan Railway Co*, de la *Metropolitan Street Railway Co*, de la *New-York*

Edison Co, des bureaux de la *New-York Telephone Co* et d'autres points intéressants pour les Ingénieurs.

Le soir, réception des visiteurs étrangers sous les auspices de l'Institut Américain des Ingénieurs électriciens.

Mardi, 6 septembre. — Schenectady (N.-Y.).

Départ de New-York mardi matin pour Schenectady, où les visiteurs seront reçus par la *General Electric Co*; départ pour Albany l'après-midi.

Après-midi, Albany, N.-Y. Départ d'Albany le soir pour Montréal; voyage de nuit.

Mercredi, 7 et Jeudi, 8 septembre. — Montréal (Canada).

Réception à l'Université Mac Gill, Montréal; visites aux importantes Stations centrales du voisinage. Départ de Montréal jeudi soir par bateau ou par chemin de fer pour les Chutes du Niagara.

Vendredi, 9 septembre. — Chutes du Niagara (N.-Y.).

Visite des Chutes, des importantes Stations centrales et des Industries électriques locales.

Départ vendredi soir pour Chicago, arrivée samedi matin.

Samedi, 10 septembre. — Chicago (Ill.).

Visite des principales Stations centrales et des points intéressants du pays.

Départ de Chicago pour Saint-Louis samedi soir; voyage de nuit.

Dimanche, 11 septembre. — Saint-Louis (Mo.).

Repos à Saint-Louis.

Lundi, 12 septembre.

A 10^h du matin, ouverture du Congrès électrique international, toutes sections réunies.

Mercredi, 14 septembre.

Séance spéciale commune à l'Institut Américain des Ingénieurs électriciens et à l'Institution anglaise des Ingénieurs électriciens, à laquelle sont invités tous les visiteurs et hôtes étrangers.

13, 14, 15 et 16 septembre.

Tous les jours de 9^h du matin à 1^h du soir, séances des diverses sections du Congrès.

Samedi, 17 septembre.

(Après-midi). Séances générales de clôture de toutes les sections du Congrès électrique international.

(Soirée). Départ de Saint-Louis pour Pittsburg; arrivée dimanche après-midi.

Lundi, 19 septembre. — *Pittsburg (Pa.)*.

Réception par la Compagnie Westinghouse et visites aux industries locales spécialement intéressantes.

Départ de Pittsburg lundi soir; arrivée à Washington mardi matin.

Mardi, 20 septembre. — *Washington (D. C.)*.

Inauguration du Bureau national des Mesures à Washington et visite des points intéressants.

Mercredi, 21 septembre. — *Philadelphie (Pa.)*.

Visite des Stations centrales importantes et des points intéressants.

Départ de Philadelphie pour Boston, par bateau, dans l'après-midi. Fall River Lane.

Jeudi, 22 septembre. — *Boston (Mass.)*.

Visite des Stations centrales, de l'Université Harvard, de l'Institut technologique du Massachusetts et des points intéressants de la ville.

Départ de Boston pour New-York, par bateau, jeudi soir.

Vendredi, 23 septembre.

Sans affectation particulière.

Samedi, 24 septembre.

Dislocation, les uns rentrant par le transatlantique de ce jour, les autres restant jusqu'à une date ultérieure.

Nous comptons que les dames se joindront en grand nombre aux invités. Des arrangements spéciaux seront pris pour assurer leur confort.

Des comités locaux se forment pour guider les excursionnistes, pourvoir aux réceptions locales, organiser les visites intéressantes aux divers points d'arrêt.

Suivant le nombre des visiteurs, un ou deux trains Pullman seront mis à leur disposition, et l'on espère obtenir que les billets circulaires, au retour de Saint-Louis, soient valables pour une route plus directe vers New-York, ou que la validité en soit prolongée afin de donner la possibilité de visiter l'Ouest ou de prolonger le séjour à Saint-Louis avant de revenir à New-York.

Cette excursion nécessitera un séjour aux États-Unis d'au moins trois semaines, soit de cinq à six semaines en y comprenant la traversée de l'Atlantique.

Prévoyant un voyage presque sans arrêt, sauf la semaine passée à Saint-Louis, ce programme donne aux excursionnistes la possibilité de parcourir

à peu près complètement les localités à l'est du Mississippi, en y comprenant une visite au Canada.

On peut évaluer les frais de cette excursion à environ 850 francs par tête, tous frais compris, transport, Pullman, hôtels et nourriture. Il faut y ajouter 850 francs environ pour la double traversée de l'Atlantique, ce qui porte les dépenses totales approximatives du voyage à 1700 francs.

Nous espérons établir très prochainement un programme plus détaillé donnant le coût exact de l'excursion proposée avec la marche à suivre pour s'assurer des places.

L'itinéraire ci-dessus est à peu près définitif, mais il pourra recevoir quelques légères modifications, lorsque les projets de réception seront plus développés.

Nous espérons avoir le plaisir d'accueillir dans notre pays une nombreuse délégation de votre Société, venue pour assister au Congrès International. Un grand nombre de ces délégués se joindront à nous, nous l'espérons, pour l'excursion que nous avons organisée en vue de la réception de nos hôtes.

Nous vous prions d'avoir l'obligeance de nous aviser prochainement du nombre approximatif des visiteurs qui viendront de votre part.

J'ai l'honneur, etc.

ARNOLD,
Président.



PÉRIODIQUES ÉTRANGERS.

MÉMOIRES ORIGINAUX.

ALLEMAGNE.

Elektrotechnische Zeitschrift.

18/2. Calcul des capacités des câbles et conducteurs aériens (*fin*); *L. Lichtenstein*. — Nouvelle méthode d'essai des huiles; *K. Wilkens*. — Communication du *Reichsanstalt* : vérification des compteurs.

25/2. Installation de Kubel; *F. Collischonn*. — Télégraphe imprimeur Stieltjes; *Lindow*. — Nécessité de se conformer aux règlements de l'Association allemande; *S. v. Gaisberg*.

3/3. Pulsation des commutatrices; *R. Elsässer*. — Installation... (*fin*); *F. Collischonn*. — Le diagramme circulaire au delà du synchronisme; *P. Müller*.

10/3. Rendement en service des moteurs de tramways; *M. Müller*. — Relation entre la température et l'émission lumineuse; *H. Eister*.

17/3. Diagramme pour moteur compensé en série; *M. Osnos*. — Inflammabilité du caoutchouc des conducteurs souples; *J. Herzog* et *C. Feldmann*. — Prise de terre protégée pour les tramways; *A. Frey*. — Les nouveaux câbles téléphoniques sous-marins; *Breisig*.

24/3. Sur l'emploi des condensateurs dans les mesures de courants alternatifs; *W. Peukert*. — Diagramme du montage en cascade au delà du synchronisme; *P. Müller*. — Forces thermoélectriques dans un fil; *F. Schneider*.

31/3. Phasemètre; *A. Grais*. — Production de courants purement sinusoïdaux; *R. Rüdenberg*.

7/4. Oscillations des alternateurs couplés; *A. Sommerfeld*. — Inducteurs à résonance et leur emploi dans la télégraphie sans fil; *G. Seibt*. — Rapport sur la protection contre les décharges atmosphériques; *G. Benischke*.

14/4. Oscillations... (*fin*); *A. Sommerfeld*. — Calcul rationnel des réseaux; *E. Müllendorff*. — Nouvelle prise de courant pour chemins de fer.

21/4. Chute de tension des courants alternatifs dans les rails; *H. Behn-Eschenburg*. Calcul... (*suite*); *E. Müllendorff*. — Éléments radioactifs; *W. Marckwald*.

28/4. Communication du *Reichsanstalt*... (*suite*). — Prédétermination de σ pour les moteurs d'induction; *H. Hobart*. — Télégraphie rapide Donald Murray; *A. Krantz*.

Interrupteurs pour haute tension; *Vogelsang*. — Télégraphe imprimeur Siemens et Halske; *A. Franke*.

Central Blatt für Accumulatoren und Elementenkunde.

1/3. L'accumulateur Jungner à l'Exposition d'automobiles de Paris.

- 15/3. Nouvelle batterie primaire pour forts courants; *C. Rammelsberg*.
15/4. Influence de la lumière sur la rapidité de formation; *G. Rosset*. — Éléments normaux pour laboratoires techniques; *G. Rosset*.
16/5. Éléments... (*fin*); *G. Rosset*.

AMÉRIQUE.

Electrical World and Engineer.

- 6/2. Longueur d'onde dans les antennes et les circuits fermés; *I. Ives*. — Mesure des pertes distribuées sur les lignes de transmission; *F. Fowle*.
13/2. Changeurs de fréquence à Montréal; *B. Behrend*. — Détermination graphique de l'emplacement d'une station centrale; *S. Draissant*.
20/2. Mise à la terre des circuits à potentiel constant; *S. Hood*. — Essai d'une turbine de 1250 kw; *A. Mattice*.
27/2. Comment opérer, avec des locomotives électriques, la traction de trains deux fois plus lourds que les trains actuels; *N. Leonard*. — Une installation mixte à Bloomsburg; *L. Levy*. — Transmetteurs téléphoniques; *A. Abbott*.
5/3. Numéro d'anniversaire ne contenant que des articles historiques.
12/3. Prédétermination de la chute de tension des transformateurs; *E. Reed*. — Calcul des ampères-tours équivalents pour courants simples ou polyphasés; *C. Guilbert*. — Transmetteurs téléphoniques (*suite*); *A. Abbott*. — Choix d'un wattmètre; *H. Davis*. — Méthodes d'exploitation des bureaux centraux (*suite*); *K. Miller* et *C. Swinton*. — Calcul des rhéostats de démarrage; *F. Meurer* et *A. Simon*. — Même sujet; *M. Freimurk*.
19/3. Turbogénérateurs; *F. Niethammer*. — Calcul... (*suite*); *C. Guilbert*. — Construction des regards pour canalisations souterraines; *H. Baker*.
26/3. Turbogénérateurs... (*fin*); *F. Niethammer*. — Calcul... (*fin*); *G. Guilbert*. — Méthodes... (*fin*); *K. Miller* et *C. Swinton*. — Sous-station téléphonique; *A. Abbott*. — Détecteur.
2/4. Télégraphie et téléphonie simultanées; *L. Hanthon*. — Balance (pont) avec écran; *G. Campbell*. — Comparaison entre les machines et les turbines à vapeur sous faible charge; *J. Seymour*. — Sous-station... (*suite*); *A. Abbott*.
9/4. Calcul des Boosters; *W. Del Mar*. — Commutatrices; *F. Baum*. — Sous-station téléphonique... (*fin*); *A. Abbott*.
16/4. Une ligne de transmission à longue portée; *B. Wiley*. — Décharges latérales des électrodes; *A. Dell*. — Rendement des transformateurs à potentiel constant; *A. Kenelly*.
23/4. Principes élémentaires du calcul des transformateurs; *T. Gray*. — Prévention des contacts entre les lignes de transmission et les lignes téléphoniques; *H. Knowlton*.

Transactions of the American Institute of Electrical Engineers.

- Caractéristique (vitesse et couple) des moteurs à répulsion; *W. Slichter*. — Moteur alternatif pour chemins de fer; *C. Steinmetz*. — Discussion; *B. Lamme*, *A. Mac Allister*, *B. Arnold*, *P. Lincoln*, *R. Mershon*, *A. Armstrong*, *R. Dundell*, *O. Lyford*, *H. Wagner*, *C. Scott*, *B. Behrend*, *W. Franklin*, *Karopetoff*, *W. Blanck*, *C. Adams*.

Construction des alternateurs à champ tournant; *D. Rushmore*. — Contribution à la théorie du réglage des alternateurs; *H. Hobart* et *F. Punga*.

ANGLETERRE.

The Electrician.

19/2. Radioactivité... (*suite*); *F. Soddy*. — Quelques emplois de l'oscillographe. *D. Morris* et *K. Catterson Smith*. — Distribution de l'électricité dans les ateliers de construction; *A. Anderson*. — Chute de voltage des alternateurs; *H. Meyer*.

26/2. Radioactivité... (*fin*); *F. Soddy*. — Turbine à vapeur Brush Parsons; *W. Chilton*. — Dispersion dans les moteurs à induction et son influence sur leurs dimensions; *H. Behn-Eschenburg*. — Chute... (*suite*); *H. Meyer*. — Expériences sur les courants parasites; *W. Thornton*.

4/3. Installation d'un laboratoire d'essais de machines; *R. Morcom*. — Chute... (*fin*); *H. Meyer*. — Nouvelle méthode pour déceler les oscillations électriques; *J. Ewing* et *L. Walter*. — Alternateurs en parallèle; *H. Bohle*.

11/3. Influence de la vitesse des moteurs sur le type à choisir; *H. Hobart*. — Applications de la théorie de l'électrolyse à la séparation des métaux; *A. Hollard*. — Dispersion... (*suite*); *H. Behn-Eschenburg*. — Étalon légal de force électromotrice; *S. Carhardt*.

18/3. Alternateurs en parallèle... (*suite*); *H. Bohle*. — Machines d'extraction; *M. Georgi*.

23/3. Instruments à lecture directe pour tableaux; *K. Edgecumbe* et *F. Punga*.

1/4. Radioactivité de certains minéraux et de quelques eaux minérales; *R. Strutt*. — Instruments... (*suite*); *K. Edgecumbe* et *F. Punga*. — Dispersion... (*fin*); *H. Behn-Eschenburg*.

8/4. Instruments... (*fin*); *K. Edgecumbe* et *F. Punga*. — Four électrique à acier de Gysinge (Suède); *F. Kyellin*. — Moyens automatiques de disconnecter des appareils hors de service; *H. Stott*. — Alternateurs... (*suite*); *H. Bohle*. — Notes sur les bobines de réaction; *F. Proctor*.

15/4. Expériences sur une nouvelle pile primaire; *G. Bousfield*.

22/4. Bases théoriques de la prédétermination de la chute de tension des alternateurs; *T. Torda-Heymann*. — Méthodes pour augmenter l'énergie d'un transmetteur. *F. Braun*. — Alternateurs en parallèle... (*suite*); *H. Bohle*.

29/4. Tramways de Manchester; *J. Mc Eroy*. — Notes sur le calcul des machines électriques; *L. Hunt*.

Electrical Review.

19/2. Diagramme circulaire des moteurs à répulsion; *F. Creedy*.

26/2. Avantages des survolteurs; *F. Broadbent*.

4/3. Turbine Riedler; *W. Rappaport*. — Turbine Curtis; *F. Samuelson*. — Diagramme... (*suite*); *F. Creedy*.

18/3. Prise de terre; *W. Moon*.

23/3. Prise de terre (*suite*); *W. Moon*. — Moteurs à vitesse variable; *W. Burleigh*.

1/4. Progrès récents dans les canalisations; *L. Waterhouse*.

8/4. Calcul des petites dynamos; *W. Burleigh*. — Distorsion dans les champs alternatifs et tournants; *R. Goldschmidt*.

15/4. Ionisation de l'air; *J. Don*. — Distorsion... (*fin*); *R. Goldschmidt*.

22/4. Moteurs à vitesse variable; *F. Punga*. — Essais des dynamos et des moteurs; *C. Smith*.

29/4. Comparaison entre le courant continu et le courant alternatif pour la traction; *H. Hobart*. — Essais... (*fin*); *C. Smith*. — Mesure de la conductibilité électrique; *I. Rymer-Jones*.

Journal of the Institution of Electrical Engineers.

Avril. — City and South London Railway. Résultats d'exploitation du système à trois fils; *P. Mac-Mahon*. — Dispersion magnétique dans les moteurs d'induction; son influence sur le calcul; *H. Behn-Eschenburg*. — Traction par courants alternatifs; *A. Eborall*. — Machines à gaz; *E. Dowson*.

AUTRICHE.

Zeitschrift für Elektrotechnik.

21/2. Construction des machines électriques en 1903; *I. Löwy*. — Théorie du moteur à répulsion; *M. Osnos*.

28/2. Chemins de fer monophasés; *F. Eichberg*. — Construction... (*suite*); *I. Löwy*.

6/3. Chemins... (*fin*); *F. Eichberg*.

13/3. Simple calcul pour moteur à champ tournant; *H. Hobart*. — L'électrotechnique dans la navigation sur les canaux; *Kareis*.

20/3. Nouvelles grues électriques; *R. Kahn*. — Moteurs monophasés à collecteur; *I. Sumer*.

27/3. Pertes par effet Joule dans les cages d'écureuil; *F. Punga*. — Nouvelles... (*fin*); *R. Kahn*.

3/4. Pertes par courants parasites; *F. Niethammer*. — Moteurs... (*suite*); *I. Sumer*. — Contrôle électrique des rondes; *J. Heitzinger*.

10/4. Fabrication des câbles téléphoniques à isolement d'air; *I. Schmidt*. — Construction... (*suite*); *I. Löwy*.

17/4. Calcul des égaliseurs de potentiel; *A. Müller*. — Construction... (*suite*); *I. Löwy*. — Procédé pour rendre visible l'irrégularité des machines; *P. Berkitz*.

24/4. Calcul... (*fin*); *A. Müller*. — Calcul des effets d'induction dans les lignes triphasées; *L. Lichtenstein*. — Refroidissement des transformateurs par l'air et par l'huile; *G. Meyer*.

1/5. Calcul... (*fin*); *L. Lichtenstein*. — Compoundage des systèmes à trois fils; *E. Rosenberg*.



BIBLIOGRAPHIE.

Leçons sur l'Électricité, professées à l'Institut électrotechnique Montefiore, par ERIC GERARD, 7^e édition, entièrement refondue. Tome I : *Théorie de l'électricité et du magnétisme, électrométrie, théorie et construction des générateurs électriques*. 1 vol. format 24 × 16, de 882 pages, avec 400 figures dans le texte. Gauthier-Villars, éditeur, Paris, 1904.

La vogue si justifiée de l'excellent ouvrage de M. E. Gerard se poursuit d'édition en édition. Un si légitime succès est dû d'abord à la valeur intrinsèque des *Leçons*, puis au soin scrupuleux avec lequel l'auteur tient son œuvre au courant des progrès continuels de l'Électricité et de ses applications.

Nous ne pouvons que signaler ici les Chapitres nouveaux ou transformés; c'est ainsi que, dans l'Électrostatique, l'auteur développe les propriétés des rayons X, des corps radioactifs et donne un aperçu de la théorie des électrons.

Dans le Chapitre XVIII on trouvera des renseignements détaillés sur les phénomènes de résonance, sur l'arc chantant de Duddel et au sujet des surtensions dans les réseaux de distribution par courants alternatifs.

L'emploi des quantités imaginaires, préconisé en Électrotechnique par P. Steinmetz, fait l'objet d'un chapitre nouveau.

Les chapitres relatifs aux dynamos à courant continu ont été presque totalement remaniés et, en tous cas, ont été considérablement amplifiés.

La théorie des enroulements d'induits a été mise à jour d'après les travaux les plus récents, ceux d'Arnold en particulier.

Cette théorie s'est accrue également de nombreuses considérations sur la réaction d'induit et sur la commutation.

On trouvera également, parmi les matières nouvelles, la description du régulateur de Thury, l'étude de la distribution du flux dans les induits dentés, les formules relatives à la dispersion et l'exposé d'une méthode de détermination des frottements dans les dynamos.

Le Chapitre XLVI sur la construction des machines à courant continu s'est enrichi de nombreux documents relatifs aux isolants, aux dispositifs de construction des induits et aux artifices imaginés pour éviter les étincelles au collecteur, etc.

Parmi les descriptions de quelques types de dynamos se trouvent la plupart des machines ayant figuré à l'Exposition de 1900, à Paris; elles sont accompagnées de leurs données de construction.

Les projets de dynamos ont été entièrement remaniés et modifiés de manière à les mettre en concordance avec les exigences actuelles et avec les règles récemment admises.

L'étude des alternateurs est maintenant très développée et complètement séparée de celle des autres machines. Cette étude comprend cinq Chapitres occupant ensemble une centaine de pages. Nous signalerons plus particulièrement le Chapitre LII qui traite du couplage des alternateurs, Chapitre particulièrement intéressant et renfer-

mant les données les plus circonstanciées sur ce problème si important et qui présentait de si grandes difficultés il y a peu de temps encore.

L'examen des diverses parties d'un projet d'alternateur termine le Tome I.

En dehors des qualités depuis longtemps appréciées du classique Ouvrage de M. Eric Gerard, il faut appeler l'attention sur l'intérêt historique que présentent les sept éditions successives des *Leçons sur l'Électricité*.

Depuis l'année 1890 qui marque l'apparition de la première édition, les progrès de l'Électricité ont été rapides dans toutes les branches de ses applications. Ces progrès sont mentionnés au fur et à mesure, dans les diverses éditions, et bien des points d'histoire de l'Électricité se trouveront ainsi fixés lorsque, plus tard, on voudra faire un retour en arrière et se rendre compte du chemin parcouru.

Distribution par courants alternatifs, par M. W.-E. GOLDSBOROUGH, Chef des Services électriques de l'Exposition universelle de Saint-Louis, 1 vol. 24 × 16, de 246 pages contenant 171 figures en planches hors texte. Traduit de l'anglais, par H. DE VORGES, ingénieur de la Société des usines à gaz du Nord et de l'Est. E. Rivière, ingénieur-imprimeur, Blois, 1904.

Cette étude, qui a paru dans l'*Electrical Review* de New-York, est présentée d'une façon pratique et nouvelle. Le professeur Goldsborough y est arrivé, tout en traitant son sujet d'une façon vraiment scientifique. Afin de se faire comprendre par le plus grand nombre, il procède du simple au compliqué. L'emploi du calcul intégral est limité au minimum possible et chaque question traitée par l'analyse est reprise ensuite par la méthode géométrique que la notion si claire des vecteurs rend accessible à tous. Un exemple numérique montre, dans chaque cas, l'intérêt que présentait le problème traité.

Cette manière de présenter un sujet a pris naissance, sans contredit, en Amérique, et nous avons déjà pu autrefois en apprécier les bons résultats lors de l'apparition de l'Ouvrage de MM. Bedell et Crehore.

Le présent Volume est divisé en deux parties : l'une étudie les divers phénomènes que présentent les circuits parcourus par les courants alternatifs; l'autre Partie a pour objet d'appliquer aux alternateurs les lois et faits démontrés dans la première.

Voici sommairement indiqués les divers sujets traités par M. Goldsborough :

Fonctions harmoniques, courbe de magnétisme, effet de la self-induction sur un circuit résistant, effet de la capacité et effets combinés de ces quantités.

Puissance absorbée dans un circuit parcouru par des courants alternatifs; cas de self-induction ou de capacité en série, en parallèle, combinés. Considérations générales sur les distributions par courants polyphasés, courants diphasés distribués par trois fils, courants triphasés.

Relativement aux alternateurs, on examine successivement ce qui se passe lorsqu'un alternateur agit sur un réseau dont tous les facteurs sont invariables, puis, le cas d'alternateurs monophasés en présence de self-induction ou de capacité variable.

L'auteur étudie enfin les alternateurs polyphasés, ainsi que l'inductance d'armature pour les induits diphasés et triphasés.

Les figures, construites à l'échelle quand il y a lieu, sont très instructives et complètent admirablement le texte.

En résumé, très recommandable Ouvrage qui méritait amplement les honneurs d'une aussi correcte traduction et d'une édition française aussi soignée.

La machine dynamo à courant continu. — *Théorie, construction, calcul, essais et fonctionnement*, par E. ARNOLD, Professeur-Directeur de l'Institut électrotechnique à l'École technique grand-ducale de Karlsruhe. Traduction française par M. E. BOISTEL, Électricien, Expert près les Cours et Tribunaux, et M. E.-J. BRUNSWICK, Électricien, Ingénieur des Arts et Manufactures. Tome I^{er}. 1 vol. in-8° de 625 pages avec 421 figures dans le texte. Ch. Béranger, éditeur, Paris, 1904.

Le professeur Arnold, tant par ses travaux que par ses publications, est certes l'auteur le plus à même de traiter comme il convient de la dynamo à courant continu. Son Ouvrage sur *Les enroulements et la construction des induits*, analysé ici même ⁽¹⁾, obtint déjà un succès considérable. Cet Ouvrage étant épuisé, le professeur Arnold en a profité pour en écrire un autre beaucoup plus important, traitant de la dynamo à courant continu dans toutes ses parties.

La réédition du premier travail se trouve donc de ce fait intercalée dans celui que nous présentons aujourd'hui. On peut dire que jamais le sujet n'a été traité avec un pareil développement et que rien de ce qui a été publié jusqu'ici n'en approche à tous points de vue. Les traducteurs, avec une compétence digne des plus grands éloges, nous donnent actuellement la première Partie du Traité d'Arnold. Cette Partie est exclusivement réservée à la théorie de la machine à courant continu.

Les six premiers Chapitres étudient les enroulements en général, les divers modes de couplages des conducteurs, les schémas complets et réduits des bobinages, les connexions équipotentielles, et discutent les valeurs de la tension entre lames voisines du collecteur pour les différents enroulements.

Le Chapitre VII est réservé exclusivement à l'examen des armatures en anneau, les armatures en tambour et en disque occupant à leur tour les deux Chapitres qui suivent.

Les armatures à enroulement ouvert, bien que de moins en moins employées, sont étudiées au Chapitre X.

Viennent ensuite des considérations détaillées sur les divers systèmes inducteurs, sur les procédés d'excitation des machines et sur le calcul des forces magnéto-motrices, en tenant compte de nombreux phénomènes jusqu'ici trop négligés.

La réaction d'induit et la théorie de la commutation occupent les Chapitres XV à XXI.

L'auteur dépasse ici tout ce que les publications antérieures permettaient de soupçonner; il s'est surpassé lui-même dans ces pages qui illuminent enfin clairement et complètement ce côté encore insuffisamment approfondi de la machine à courant continu.

Les quatre derniers Chapitres sont réservés à l'étude des caractéristiques, des diverses pertes qui contribuent à abaisser le rendement, à des considérations théoriques et pratiques sur l'échauffement des divers organes d'une machine ainsi que sur l'efficacité des divers procédés de refroidissement.

Cette trop courte énumération suffit à faire comprendre que l'Ouvrage du professeur Arnold est un monument auquel on doit inévitablement se reporter si l'on veut réel-

(1) Voir *Bulletin*, année 1900, page 430.

lement connaître la dynamo. Félicitons-nous en France d'avoir déjà une excellente traduction de la première Partie de cette œuvre magnifique ; traducteurs et éditeur ne pouvaient mieux réussir.

Essais industriels des machines électriques et des groupes électrogènes, par F. LOPPÉ, Ingénieur des Arts et Manufactures. 1 vol. 24 × 16 de 280 pages avec 180 figures et divers Tableaux numériques. Gauthier-Villars, éditeur, Paris, 1904.

L'auteur, en réunissant en un Volume les conférences qu'il fait depuis plusieurs années à l'École supérieure d'Électricité de Paris, a été heureusement inspiré. Très peu d'Ouvrages, en effet, traitent des essais des machines et cette publication n'en sera que plus utile et plus appréciée.

Dans les sept Chapitres de cet Ouvrage, M. Loppé indique tout d'abord le but des essais et la manière de les conduire, puis il fait connaître les méthodes permettant d'apprécier les machines, tant au point de vue de la construction qu'au point de vue du rendement. L'énergie électrique devant, au cours des expériences, être généralement dissipée en assez grande quantité, l'auteur donne des renseignements précieux sur la confection économique de rhéostats de fortune capables d'absorber sans difficulté beaucoup d'énergie. Le problème est souvent difficile s'il s'agit de courants à haute tension et l'on n'avait guère indiqué de moyens simples pour le résoudre.

Le Chapitre VII sera particulièrement apprécié des ingénieurs. Il est relatif aux essais de réception et de consommation du matériel des stations centrales à vapeur, à gaz et hydrauliques.

Le guide de M. Loppé comprend enfin la reproduction des règlements actuellement en vigueur pour les essais des machines ainsi qu'un résumé des conditions imposées aux constructeurs par la Société des Ingénieurs électriciens américains, par la Société électrotechnique allemande et par l'Association française des propriétaires d'appareils à vapeur.

Cette Partie de l'Ouvrage permettra aisément l'établissement des cahiers des charges, tout en évitant bien des causes de contestation.

Manipulations et études électrotechniques, *Manuel pratique à l'usage des ingénieurs électriciens et des élèves des écoles techniques*, par L. BARBILLION, Sous-Directeur et Professeur à l'Institut électrotechnique de l'Université de Grenoble. 1 vol. format 24 × 16 de 304 pages avec 162 figures dans le texte. V^e Ch. Dunod, éditeur, Paris, 1904.

Ces manipulations et études électrotechniques sont destinées à compléter l'instruction pratique de l'ingénieur électricien dont les connaissances théoriques ont été développées, dans les écoles, un peu au détriment souvent des applications usuelles.

L'auteur, après avoir sommairement rappelé les théories indispensables, expose les méthodes de mesure et les procédés d'essais des machines électriques.

Chaque machine ou appareil fait l'objet d'une manipulation définie, avec données expérimentales à l'appui, schéma de montage de l'essai, etc.

La première Partie ainsi que la troisième sont ainsi consacrées au courant continu et aux courants alternatifs.

Les seconde et quatrième Parties sont divisées de même et se réfèrent aux études et à l'examen de projets divers.

Parmi ceux-ci mentionnons l'avant-projet de construction d'un moteur asynchrone à courants triphasés et l'étude d'une transmission d'énergie par courants polyphasés.

Les exemples numériques et les constructions graphiques contribuent beaucoup à la clarté des explications que fournit M. Barbillion dans ce très recommandable Ouvrage pratique.

Recherches sur l'effet magnétique des corps électrisés en mouvement, par M. N. VASILESCO KARPEN. Thèse présentée à la Faculté des sciences de l'Université de Paris pour l'obtention du grade de docteur ès sciences physiques. 1 vol. 24×16 de 116 pages avec 13 figures. Librairie Gauthier-Villars, Paris, 1904.

Extrêmement faibles par suite de l'infinitésimale quantité d'énergie mise en jeu, les effets d'induction produits par le mouvement d'un corps électrisé avaient été prévus depuis longtemps par le calcul.

Avant M. Karpen on n'avait jamais pu les mettre en évidence avec certitude et, à la suite d'expériences retentissantes autant que négatives par leurs résultats, on désespérait presque de démontrer par les faits des phénomènes que quelques impatients commençaient à nier.

Il s'agit, en principe, de charger un corps d'électricité, puis de le faire mouvoir dans le voisinage d'un conducteur relié à un galvanomètre. Si la charge est suffisante et la vitesse de déplacement assez élevée, un courant induit prend naissance dans le conducteur. On démontre ainsi que la charge adhère au diélectrique et qu'elle est entraînée avec lui.

Le dispositif expérimental était difficile à réaliser pour éviter toute cause d'erreur y compris les courants parasites, souvent plus intenses que les courants induits à déceler.

M. Karpen a réussi complètement, grâce à un dispositif judicieux. Ses expériences ont été répétées fréquemment devant de nombreux savants. Il est à présent acquis : 1° que les diélectriques n'ont pas d'influence sur l'effet magnétique des charges en mouvement ; 2° que l'effet magnétique de la convection se rattache très simplement à la théorie de Maxwell ; 3° que les lignes de force, contrairement aux idées de Faraday, n'ont rien de matériel.

En résumé, grâce au difficile et remarquable travail de M. Karpen, l'effet magnétique de la convection est constaté et l'on a la confirmation expérimentale de l'exactitude des théories actuelles.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

France.

Distribution par courants alternatifs, par M. W.-E. GOLDSBOROUGH. Traduit de l'anglais par Henry DE VORGES. Grande Imprimerie de Blois et de Paris, *Mois scientifique et industriel*, éditeur, 1903; 1 vol. gr. in-8 broché. (Don de M. Henry de Vorges.)

Électrotechnique appliquée. Cours professé à l'Institut électrotechnique de Nancy, par M. A. MAUDUIT. Avec une préface de M. A. BLONDEL. Paris, V^{re} Ch. Dunod, 1904; 1 vol. gr. in-8 broché. (Don de l'Éditeur.)

Études sur les résonances dans les réseaux de distribution par courants alternatifs, par M. G. CHEVRIER. Paris, édité par l'Éclairage électrique s. d. [1904]; 1 vol. in-8 broché. (Don de l'Éditeur.)

La pose des lignes en bronze, cuivre et aluminium. Abaques générales de tensions et des flèches. Communication faite à l'Assemblée générale de la Société belge des électriciens du 23 février 1904, par M. E. PIERARD. Paris, V^{re} Dunod; Bruxelles, Ramlot, 1904; 1 brochure in-8. (Don de M^{me} V^{re} Dunod.)

Les maladies des machines électriques, par M. Ernst SCHULZ. Traduit de l'allemand par A. HALPHEN. Paris, V^{re} Ch. Dunod, 1904; 1 vol. in-16 cartonné. (Don de l'Éditeur.)

Méthodes modernes de paiement des salaires, par M. Julien IZART. Préface de M. Yves GUYOT (Bibliothèque du *Mois scientifique et industriel*). Paris, V^{re} Ch. Dunod, 1904; 1 brochure in-8. (Don du *Mois scientifique et industriel*.)

Rayons « N ». Recueil des communications faites à l'Académie des Sciences, par M. R. BLONDLOT. Paris, Gauthier-Villars, 1902; 1 vol. in-16, broché. *Actualités scientifiques*. (Don de l'Éditeur.)

Traité élémentaire des enroulements des dynamos à courant continu, par M. F. LOPPE. Paris, Gauthier-Villars, 1904; 1 vol. in-16 broché. *Actualités scientifiques*. (Don de l'Éditeur.)

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Recherches sur la commutation dans les dynamos à courant continu (M. Ilievici), p. 469. —
Couplage des alternateurs en parallèle (Expériences et nouvelles considérations sur le)
(M. Boucherot), p. 495. — Fluxmètre et Hystérésigraphe (M. Grassot), p. 523.

BIBLIOGRAPHIE, p. 527.

OUVRAGES OFFERTS, p. 534.

COMPTE RENDU
DE LA
RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 6 juillet 1904 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. CH.-E. GUILLAUME, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir.

Le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts pour la Bibliothèque de la Société (*voir* p. 534). Des remerciements sont adressés aux donateurs et, en particulier, à M. Eug. Sartiaux pour son important envoi de 25 volumes.

⁽¹⁾ La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

La Réunion est appelée à se prononcer sur les demandes d'admission suivantes :

Bella (Henri), Ministre plénipotentiaire de France en retraite, ancien Délégué du **Gouvernement français en Orient**, Amérique, Italie, Hongrie, Allemagne, 53, rue de Varenne, à Paris. — Présenté par MM. Pollard et Sabourain.

Société française des câbles électriques (*système Berthoud, Borel et C^{ie}*), 11, chemin du Pré-Gaudry, à Lyon (Rhône). — Présentée par MM. Pollard et Grosselin.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de MM. *Chambre, Chambrelent, Gladstone, de Luynes, Marey et Rilliet* et ajoute :

« M. Marey fut avant tout physiologiste, et c'est dans l'étude de l'être vivant que son œuvre laissera la trace la plus profonde. Résumer ici ses travaux de Physiologie pure nous entraînerait bien loin de l'objet de nos préoccupations. Mais il nous touchait de plus près par les méthodes qu'il créa, qu'il élaborait dans leurs moindres détails, et qu'il mit en œuvre dans ses mémorables recherches. Ces méthodes, dont l'invention révèle un véritable tempérament d'ingénieur, sont, en effet, sorties du domaine pour lequel elles avaient été d'abord élaborées, et sont devenues précieuses dans une foule de branches de la recherche scientifique, complètement étrangères à la Physiologie.

» M. Marey fit faire aux méthodes graphiques de très grands progrès. Son tambour inscripteur, son sphymographe, dans lequel on peut voir un ancêtre de l'oscillographe, sont aujourd'hui d'un emploi très général.

» Mais c'est surtout dans l'inscription photographique des phénomènes du mouvement que l'œuvre de Marey restera féconde. La marche de l'homme et des animaux, le vol de l'oiseau et des insectes attirèrent tour à tour son attention. Préoccupé de ramener la marche à des principes mécaniques, il créait automatiquement des diagrammes simplifiés, en réduisant les organes en mouvement à un certain nombre de lignes caractéristiques dont le déplacement, repéré à des instants équidistants, indiquait les positions successives de chacune des pièces mobiles.

» L'analyse de ces mouvements a révélé une série de faits inattendus sur lesquels je n'ai pas à insister ici. Mais, comme conséquence accessoire et accessible à tous de ces beaux travaux, il est juste de rappeler que, grâce aux aspects particuliers que Marey nous fit voir par la chronophotographie, nous avons appris à juger plus sainement des phénomènes du mouvement et de l'équilibre instantané des êtres en marche ou à la course; ces aspects nouveaux, compris par les artistes, nous ont débarrassés de maintes conventions.

» Il a suffi aussi d'ajouter quelques organes mécaniques nouveaux aux appareils de Marey pour réaliser le cinématographe.

» Marey n'avait pas appris, à l'école, les développements mathématiques des principes de la Mécanique, et, si son instinct merveilleux des phénomènes lui faisait deviner bien des choses que les géomètres voient à travers les formules, en revanche il s'interdisait de donner des conclusions qu'il ne pouvait pas fonder sur un raisonnement rigoureux. Il se bornait alors à indiquer un résultat expérimental, laissant à d'autres le soin d'en tirer les conséquences mécaniques qu'il comportait ou d'en faire une analyse permettant de mettre en évidence les principes desquels il découlait. Comme les résultats qu'il énonçait étaient toujours intéressants, les géomètres les ont souvent discutés avec le plus grand intérêt. Il est même arrivé que ces résultats fussent contestés au nom des principes; l'étude du désaccord entre l'expérience et la théorie montra alors invariablement que celle-ci était incomplète. C'est ainsi qu'à propos de la chute du chat, dont Marey avait indiqué le mécanisme, il devint évident que plusieurs des maîtres de la Dynamique avaient mal appliqué le principe des aires.

» L'étude du vol de l'oiseau conduisit Marey, par un chemin naturel à un fin analyste, à l'investigation des mouvements de l'air autour d'un obstacle sans la connaissance desquels l'aviation restera toujours mystérieuse. Procédant avec la méthode dont il ne s'est jamais départi, allant du simple au compliqué, du facile au difficile, il aborda tout d'abord les phénomènes qui accompagnent l'écoulement de l'eau dans un canal où des obstacles divers étaient disposés. Puis, ayant rendu visibles les filets gazeux par de légères fumées; ayant, de plus, créé une méthode chronophotographique par

la formation de petits flocons isolés, il put établir, dans un certain nombre de cas, la trajectoire et la vitesse des particules d'air dans les diverses régions du courant.

» Dans ces investigations, Marey n'a jamais prétendu épuiser les sujets dont il avait abordé l'étude ; il a bien plutôt voulu montrer combien sont fécondes, dans les domaines les plus divers, les méthodes qu'il avait appliquées avec tant de succès à la Physiologie, et le parti que peuvent en tirer ceux qui s'en empareront pour des études de tous genres. Il est à peine besoin d'insister sur l'importance que de telles recherches peuvent avoir dans l'établissement des conditions de travail des turbines ou des ventilateurs.

» Ces méthodes sont susceptibles de généralisations inattendues. Telle est l'application qu'en a faite M. Hele-Shaw à la représentation complète des lignes de force dans un champ magnétique ou électrique contenant des régions de pouvoir spécifique divers ou de perméabilité variable.

» En 1895, Marey fut appelé, conformément aux stipulations de la Convention du Mètre, à présider la deuxième Conférence générale des Poids et Mesures, réunie au Pavillon de Breteuil. Il fut ainsi conduit à étudier l'organisation du Bureau international des Poids et Mesures, et à se rendre compte de la nature et de l'étendue des services qu'il peut rendre à la cause de l'unification des mesures. C'est alors qu'il conçut le projet de la création d'un établissement où seraient contrôlés les instruments employés par les physiologistes, de manière à rendre leurs résultats plus directement comparables. Cette idée, mûrie pendant plusieurs années, se précisa au Congrès international de Physiologie réuni à Turin en 1901, et où fut décidée la création de l'Institut Marey. C'est à cet Institut que M. Marey donna ses derniers soins et ses dernières pensées.

» Il est impossible de parler de M. Marey sans rappeler le charme de sa conversation, l'aménité de son caractère, sa finesse alliée à une extrême bonté et à une bienveillance dont sont restés pénétrés tous ceux qui l'ont approché ; qu'il me soit permis de donner à sa mémoire un souvenir personnel de respectueuse affection et de profonde gratitude. »

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

RECHERCHES SUR LA COMMUTATION DANS LES DYNAMOS A COURANT CONTINU ⁽¹⁾.

M. ILIOVICI. — « Quand j'ai commencé mes expériences sur la *commutation*, en janvier 1903, il n'y avait de publiées que les quelques courbes, relevées par MM. Everett et Peake ⁽²⁾, courbes de variation de l'intensité dans une section commutée et du champ dans le voisinage de la section.

» Le 6 juin 1903 j'ai présenté, à une Commission composée de MM. Janet, Brunswick et Picou, les premiers résultats obtenus sur une dynamo que la Maison Breguet a bien voulu mettre à ma disposition. Presque tous les résultats compris dans cette Note étaient contenus dans le rapport présenté à la Commission.

» Depuis, le 18 juin 1903, est apparu un article dans lequel M. Arnold rend compte d'expériences faites sous sa direction par M. Czeija ⁽³⁾.

Au point de vue théorique la *commutation* a été étudiée surtout par MM. Fischer-Hinnen, Girault et Arnold ⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ Ces recherches ont été exécutées au Laboratoire central d'Électricité sur les fonds du legs Hughes.

⁽²⁾ *Electrician*, 22 avril 1898, p. 861. — *Éclairage électrique*, 20 août 1898, p. 337.

⁽³⁾ *Electrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, 18 juin 1903, p. 469; *Éclairage électrique*, t. XXXVII, 19 décembre 1903, p. 453. — Voir aussi la brochure : *Die Experimentelle Untersuchung der Kommutationsvorgänge in Gleichstrommaschinen von Karl Czeija* (Ferdinand Enke, Stuttgart, éditeurs).

⁽⁴⁾ GIRAULT, *Sur la commutation dans les dynamos à courant continu* (*Bulletin de la Soc. int. des Électriciens*, 1898). — ARNOLD, *Die Gleichstrommaschine* (traduction française par MM. BRUNSWICK et BOISTEL). — FISCHER-HINNEN, *Machines dynamo-électriques*. — Voir aussi : THORBURNE REID, *Electrician*, 1898, p. 515. — C. C. HAWKINS, *Theory of commutation*. — PARSHALL AND HOBART, *Electric Generators*. — ALLEN, *Journal of the Institution of electrical Engineers*, 1898, p. 209. — E. ARNOLD UND G. MIE, *Electrotechnische Zeitschrift*, 1899, p. 97. — HOBART, *Éclairage électrique*, t. XXX, p. 213. — PICHELMAYER, *E. T. Z.*, t. XXII, p. 967. — F. PUNGA, *E. T. Z.*, t. XXII, p. 1035. — LATOUR, *Ecl. él.*, t. XXXVI, p. 296. — BOY DE LA TOUR, *Industrie électrique*, t. XI, p. 79. — ROTHERT, *E. T. Z.*, t. XXII, p. 865 et 884. — PREUZLIM, *E. T. Z.*, t. XXVII, p. 933. — F. PUNGA, *Zeitschrift der Electrotechnique*, t. XX, p. 366; *Ecl. él.*, t. XXXIV, p. 123, etc.

» *But des expériences.* — Mes expériences ont eu un double but :

» 1° Étudier les phénomènes qui se produisent dans la section de l'induit commutée ou dans son voisinage ; par exemple : variation du courant et de la force électromotrice induite dans la spire en court-circuit, variation de la chute de tension sous un balai, etc. Discussion des méthodes. Étude desdits phénomènes dans les conditions les plus variées de fonctionnement de la machine (en faisant varier la vitesse, l'excitation, la position et la pression des balais, etc.)

» 2° Connaissant bien la liaison intime entre l'un de ces phénomènes et la tendance de la machine à produire des étincelles, prendre ce phénomène comme critérium et apprécier les moyens qu'on emploie ou qu'on pourrait employer pour améliorer la commutation, ou encore chercher un moyen pratique pour se rendre compte facilement des causes d'une mauvaise commutation.

» Les expériences sont longues et pénibles, et demandent beaucoup de précautions.

» Dans cette Note je n'indique que les méthodes employées, les précautions prises et les premiers résultats.

» *Indications concernant la dynamo.* — La dynamo employée dans la plupart des expériences était une machine de 20 kilowatts, 110 volts, 1000 t. m., tétrapolaire.

» Voici ses principaux éléments ⁽¹⁾ :

Induit.

Diamètre extérieur des tôles.....	340 mm.
Diamètre intérieur.....	172 mm.
Longueur totale du fer.....	180 mm.
Nombre d'entailles.....	32
Dimensions des entailles.....	16 mm largeur, 25 mm profondeur (ouvertes).
Nombre de barres par entaille.....	12
Dimensions des barres.....	1,5 × 10 mm.
Nombre de spires par section.....	2
Nombre de sections.....	96
Enroulement.....	tambour imbriqué.
Résistance de l'induit à chaud.....	0,016 ω.

(1) C'est une dynamo d'expérience et non de construction courante; c'est pourquoi ses dimensions ne sont pas du tout celles d'une machine normale.

Collecteur.

Nombre de lames.....	96
Longueur d'une lame.....	96 mm.
Largeur d'une lame.....	6 mm.
Epaisseur de l'isolant entre lames.....	0,6 mm.
Nombre de lignes de balais.....	4
Nombre de balais par rangée.....	3
Surface de contact d'un balai.....	(1,32 × 2) mm ² .
Nombre de lames couvertes par un balai.....	2

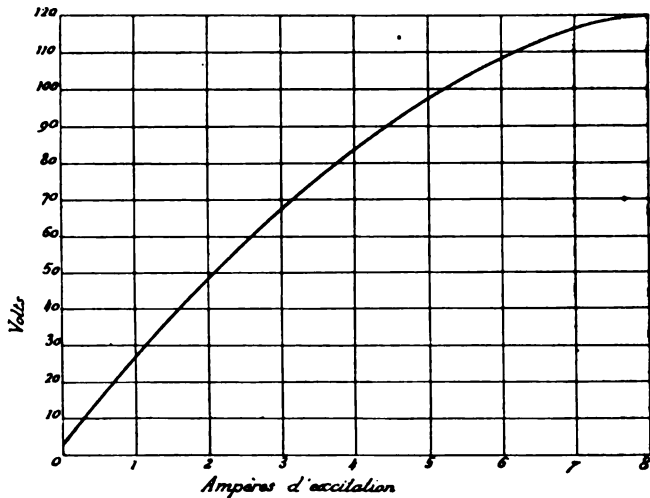
Entrefer.

Longueur radiale.....	6 mm.
-----------------------	-------

Inducteurs.

Arc polaire.....	180 mm.
Entrepôle.....	96 mm.
Section du noyau (en tôle vernie).....	153 cm ² .
Section de la culasse (en acier).....	70 cm ² .
Enroulement par pôle.....	30 couches, 850 spires, fil $\frac{30}{10}$

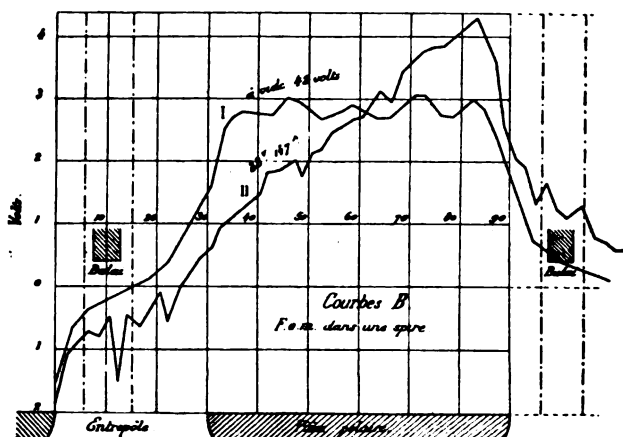
- » La pièce polaire a une tôle sur deux enlevée.
- » Je donne aussi, à titre de renseignement, la caractéristique à



COURBE A. — Caractéristique à vide 950 t. m.

vide de la machine (courbe A) ainsi que la courbe de la force

électromotrice induite dans une spire, à vide (42 volts; courbe B.I)



COURBES B.

et en charge (38 volts, 147 amp. ; courbe B. II).

» *Montage.* — Dans toutes les questions dont je me suis occupé j'ai eu à relever des courbes de variation de différence de potentiel entre deux points. Les valeurs de ces différences de potentiel étaient faibles (pour certaines de l'ordre du 0,1 volt, pour d'autres de quelques volts) et la durée de la variation de l'ordre du *millième de seconde*. Dans ces conditions, l'emploi d'un appareil automatique, oscillographe, ondographe ou rhéographe, était impossible et j'ai eu recours à la méthode de M. Joubert, montée dans des conditions particulières.

» Le montage général est donné par la figure 1. La manette du commutateur C_1 permet d'avoir la différence de potentiel à mesurer entre les points c et d . Le point c est relié directement à une borne d'un condensateur de précision, tandis que d est relié à un balai d'un *indicateur Franke* ⁽¹⁾, l'autre balai étant relié à l'autre borne du condensateur. Le circuit de décharge de celui-ci contient un inverseur I , une résistance fixe R_2 de 10000 ohms et une résistance variable R_1 ; en dérivation sur celle-ci se trouve un galvanomètre en série avec une résistance R_2 . On s'arrange de façon que

$$R_1 + R_2 = 11110 \, \Omega = \text{const.}$$

⁽¹⁾ Voir *Éclairage électrique* du 16 novembre 1901.

» Une pile P, de force électromotrice connue, peut être reliée aux points c et d du commutateur C, et nous permet d'étalonner le système *indicateur-condensateur-galvanomètre* dans les conditions mêmes des expériences.

» L'*indicateur Franke IF* (fig. 1) contient un collecteur formé

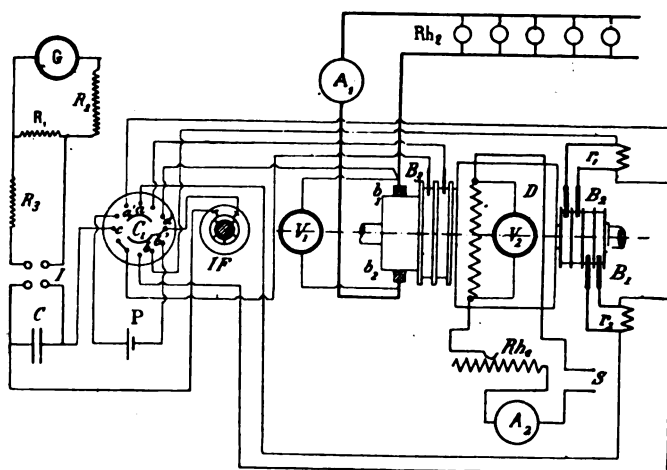


Fig. 1. — A_1, A_2 , ampères-mètres.
 V_1, V_2 , voltmètres.
 G, galvanomètre.
 R_1, R_2, R_3 , boîtes de résistance.
 I, inverseur.
 C, condensateur.
 C, commutateur.
 P, pile.
 IF, Indicateur Franke.

B_1, B_2, B_3 , bagues.
 b_1, b_2 , balais de la dynamo.
 r_1, r_2 , résistances induites dans une bobine de l'induit.
 D, dynamo.
 Rh_1 , rhéostat de lampes.
 Rh_2 , rhéostat d'excitation.
 S, source d'excitation séparée.

de cinq segments métalliques dont quatre d'environ 60° et un de 120° , séparés par des lamelles isolantes.

» Sur ce collecteur frottent deux petits balais, la distance entre leurs points de contact étant un peu plus petite que la largeur du segment de 120° , la différence pouvant être rendue aussi petite que l'on veut.

» Ce collecteur est relié à l'arbre de la machine et tourne avec elle. On voit dans la figure 1 que, pendant le temps très court, durant lequel les deux balais touchent le segment de 120° , le condensateur se charge: pendant le reste du temps d'une rotation complète du collecteur, le circuit de charge est interrompu et le condensateur se décharge dans le galvanomètre. Ces charges et décharges se font,

dans notre cas, environ dix-sept fois par seconde; le galvanomètre, convenablement amorti, donne une déviation proportionnelle à la différence de potentiel entre les points c et d au moment de l'interruption du circuit de charge, pourvu que certaines conditions indiquées plus loin soient remplies.

» Les deux balais de l'*indicateur* sont montés sur un disque dont le pourtour est divisé en 360 parties égales (degrés). En face de cette graduation se trouve un vernier *au dixième* (un espace de 9° divisé en 10 parties égales), on peut donc lire le 0,1 de degré. En faisant varier la position du disque, on relève les divers points de la courbe.

» L'appareil porte encore un *balai nettoyeur* sur lequel se trouve un tampon imbibé de pétrole et qui nettoie continuellement le collecteur.

» L'avantage de l'*indicateur Franke* sur les autres appareils qu'on emploie pour la méthode Joubert est, en dehors d'une construction très soignée, que les balais frottent presque continuellement sur du métal; on peut ainsi éviter toute vibration des balais produite par l'appareil.

» Le *galvanomètre* est un Deprez-d'Arsonval que la maison Carpentier a construit spécialement pour mes recherches; c'est un appareil d'une sensibilité de 2500 mégohms (1000 fois environ plus sensible que les Deprez-d'Arsonval ordinaires). Sa résistance critique est d'environ 10 000 ohms.

» Le condensateur est un *condensateur* de précision Alioth de 1 microfarad divisé en quatre parties de 0,05; 0,05; 0,2, 0,2 et 0,5 microfarad.

» Nous nous sommes servi des capacités 0,05 et 0,05 + 0,05 microfarad.

» *Précautions.* — Voici quelques détails d'opérations et les précautions prises pour assurer l'exactitude des mesures :

» La machine a été solidement fixée sur deux rails, afin de diminuer autant que possible les vibrations.

» Le collecteur tournant de l'*indicateur*, dont l'axe est bien centré avec l'arbre de la machine, est relié à celui-ci par un flexible; on empêche ainsi les vibrations qui pourraient encore exister dans la

machine de se transmettre à l'indicateur. D'autre part, la puissance absorbée par l'appareil est faible, les parties tournantes étant légères et montées sur billes; le flexible est suffisamment robuste; ses déformations, si elles existaient, ne pourraient être que très faibles et toujours les mêmes.

» Toute la courbe d'un phénomène est donnée pour une rotation de 6 à 12 degrés du disque contenant les balais, ce qui correspond à un déplacement des balais sur le collecteur de 2 mm à 4 mm environ. Comme on a pris en moyenne douze points sur chaque courbe, on a eu, pour passer d'un point à l'autre, à déplacer les balais sur le collecteur de 0,17 mm à 0,33 mm. Nous allons voir aussi que la durée du contact a dû être très faible. On comprend quelles précautions on a dû prendre pour être sûr de la fin du contact et, en premier lieu, on a dû songer à la propreté du collecteur.

» J'ai fait une série d'expériences pour me rendre compte des meilleures conditions.

» Pour cela, entre les points c, d, on a établi une différence de potentiel constante. On a enlevé le balai nettoyeur, lavé le collecteur au pétrole et relevé l'indication du galvanomètre; celle-ci, qui devait être constante, variait irrégulièrement.

» En remettant le balai nettoyeur, la déviation du galvanomètre décroissait continuellement pendant les premières 15 minutes environ, puis devenait constante.

» J'ai essayé aussi un balai dont la partie qui nettoie se déplaçait d'une façon continue; dans ce cas, les indications du galvanomètre étaient toujours les mêmes pour la même différence de potentiel.

» Comme il était très difficile de monter un balai nettoyeur dont le tampon se déplace continuellement, je me suis contenté d'un balai fixe, les déviations du galvanomètre n'étant relevées que 20 à 30 minutes après avoir nettoyé le collecteur de l'indicateur.

» Ce temps était aussi nécessaire pour que la dynamo prenne son régime.

» D'ailleurs, chaque expérience a été refaite plusieurs fois le même jour ou à des jours différents, pour s'assurer que la courbe relevée caractérise bien le phénomène et qu'elle se reproduit assez

exactement toutes les fois que la dynamo se retrouve dans les mêmes conditions.

» Pour éviter que les vibrations du sol se transmettent à l'indicateur, l'échafaudage qui le supportait était placé sur des rondelles en caoutchouc et supportait un poids de 50 kg.

» Pour vérifier que les vibrations n'intervenaient plus pour fausser les mesures, on a relevé les mêmes courbes plusieurs fois en changeant les positions des balais par rapport aux tiges qui les supportaient, mais de façon que la distance des points de contact des balais avec le collecteur reste la même; la durée du contact était donc toujours la même, mais la fin correspondait à des positions différentes des tiges porte-balais et du collecteur. Les vibrations devaient alors agir de façon différente; on a obtenu la même courbe, aux erreurs d'expériences près, ce qui prouve que les vibrations n'intervenaient pas.

» On a eu aussi à éviter les vibrations du galvanomètre. Celui-ci, en effet, très sensible au courant, était aussi très sensible aux vibrations et, si l'on n'était pas arrivé à les éviter complètement, non seulement il aurait été difficile de relever les indications, mais les mesures auraient été faussées par suite du frottement du cadre, l'appareil ayant un entrefer très faible.

» D'autre part, je travaillais dans une salle de machine dans laquelle se trouvaient quelquefois en marche, en dehors de ma machine et de son moteur, une machine à vapeur, un moteur à gaz et quelques dynamos.

» Je suis arrivé à éviter complètement les vibrations de la façon suivante :

» Le galvanomètre était monté, par une suspension Julius, sur un échafaudage dont les quatre pieds étaient posés sur des rondelles en caoutchouc de 15 mm environ d'épaisseur. (Ces rondelles étaient placées sur des isolateurs en porcelaine pour avoir un bon isolement électrique.) Sur l'échafaudage étaient mis des poids, de façon que l'ensemble pesait environ 100 kg.

» En réglant convenablement les poids et l'amortissement de la suspension, on était arrivé à n'avoir que de très faibles vibrations dans les cas les plus défavorables.

» Le galvanomètre étant très sensible et la dynamo ayant un

isolement moyen, on avait à craindre qu'un courant parasite s'établisse à travers le sol dans le galvanomètre. Il fallait donc que le galvanomètre ainsi que toutes les parties du circuit soient parfaitement isolés.

» Pour cela, tous les appareils ont été montés sur de petits cubes en paraffine de 1 cm de côté.

» Avant d'avoir pris cette précaution, le galvanomètre donnait une déviation de plusieurs centimètres bien que son circuit fût ouvert; des courbes qui devaient être symétriques étaient bien loin de l'être.

» Tous ces phénomènes ont disparu après que l'on eût pris les précautions d'isolement ci-dessus.

» *Justification de l'emploi de l'indicateur Franke.* — Dans la méthode Joubert, sous la forme qu'on lui donne d'habitude, pendant la charge du condensateur le circuit de décharge est ouvert et réciproquement. Entre la charge et la décharge il y a un certain intervalle pendant lequel on pourrait craindre les déperditions du condensateur.

» Dans notre cas, pendant la charge du condensateur, le circuit de décharge est aussi fermé, la décharge se fait tout de suite après la charge, les déperditions ne sont pas à craindre; mais il faut voir

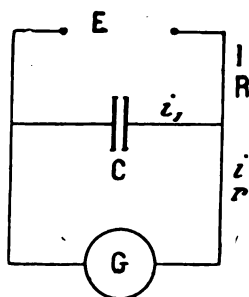


Fig. 2.

dans quelles conditions les indications du galvanomètre sont proportionnelles à la différence de potentiel au condensateur, à la fin de la charge de celui-ci.

» Pour cela, remarquons que, pendant la charge, l'ensemble du circuit peut être représenté schématiquement par la figure 2, E étant la différence de potentiel à inscrire.

» Supposons que, pendant le temps T_1 de la charge, la différence de potentiel E varie linéairement (cette hypothèse est admissible parce que T_1 est très faible, de l'ordre de 0,0001 de seconde) et posons

$$E = E_1 t + E_0.$$

on a

$$E = RI + ri, \quad I = i + i_1, \quad i_1 = \frac{dQ}{dt} = C \frac{de}{dt} = Cr \frac{di}{dt},$$

e étant la différence de potentiel aux bornes du condensateur; d'où

$$E_1 t + E_0 = (R + r)i + CRr \frac{di}{dt}.$$

» La résolution de cette équation nous donne

$$i = \frac{E_1}{R+r} t + \frac{1}{R+r} \left(E_0 - \frac{CRr}{R+r} E_1 \right) \left(1 - e^{-\frac{R+r}{CRr} t} \right)$$

ou, R étant négligeable par rapport à r ,

$$i = \frac{E_1}{r} t + \frac{1}{r} (E_0 - CRE_1) \left(1 - e^{-\frac{t}{CR}} \right).$$

» La quantité d'électricité qui passe dans le galvanomètre pendant la durée de charge est

$$Q_1 = \int_0^{T_1} i dt = \frac{E_1}{r} \frac{T_1^2}{2} + \frac{1}{r} (E_0 - CRE_1) \left[T_1 - CR \left(1 - e^{-\frac{T_1}{CR}} \right) \right]$$

ou encore

$$Q_1 = \frac{1}{r} \left[T_1 - CR \left(1 - e^{-\frac{T_1}{CR}} \right) \right] E_{\text{final}} + \left(\frac{T_1}{2r} - \frac{1}{r} \left(1 + \frac{CR}{T_1} \right) \left[T_1 - CR \left(1 - e^{-\frac{T_1}{CR}} \right) \right] \right) \alpha$$

où $\alpha = E_1 T_1 = E_{\text{final}} - E_{\text{initial}}$.

» A la fin de la charge, le condensateur contient une quantité d'électricité

$$Q = Ce_{\text{final}} = Cr i_{\text{final}} = CE_1 T_1 + C(E_0 - CRE_1) \left(1 - e^{-\frac{T_1}{CR}} \right)$$

et, pendant la décharge, toute cette quantité entre dans le galvanomètre.

» On peut encore écrire

$$Q = C \left(1 - e^{-\frac{T_1}{CR}} \right) E_{\text{final}} + \left[C - C \left(1 + \frac{CR}{T_1} \right) \left(1 - e^{-\frac{T_1}{CR}} \right) \right] \alpha.$$

» Les indications du galvanomètre sont proportionnelles à $Q + Q_1$.

» Si $T_1 = 0,0001$ seconde, $R = 10 \, \Omega$, $C = 10^{-7}$ farads, on a très approximativement

$$Q + Q_1 = \left(C + \frac{T_1}{r} \right) E_{\text{final}} - \frac{T_1}{2r} \alpha$$

ou

$$Q + Q_1 = \frac{11}{10^8} E_{\text{final}} - \frac{0,5}{10^8} \alpha,$$

$$Q + Q_1 = \frac{11}{10^8} \left(E_{\text{final}} - \frac{5}{110} \alpha \right).$$

» On voit que la différence α entre E_{final} et E_{initial} n'entre que par sa fraction $\frac{5}{110}$ de sa valeur; on peut donc considérer les indications du galvanomètre comme proportionnelles à E_{final} .

» Dans la pratique, nous avons choisi T_1 de la façon suivante :

» On relevait une courbe très irrégulière avec différentes valeurs de T_1 , on a vu qu'elle ne se déformait pas dans certaines limites, toutes les autres conditions, résistances du circuit de charge, etc., étant les plus défavorables et l'on est resté au-dessous de cette limite.

» Les expériences ont été faites à la salle des machines du Laboratoire central d'Électricité.

» I. *Variation de l'intensité du courant dans une section en court-circuit.* — J'ai cherché à réduire l'étude de l'intensité à celle d'une quantité qui lui est proportionnelle : par exemple, la chute ohmique dans la section ou dans une partie de la section. Pour cela, il suffit d'avoir une résistance non inductive parcourue par le même courant que la section, ou par un courant en relation simple avec lui.

» 1° J'ai tout d'abord voulu prendre comme résistance non inductive une des barres qui relient les extrémités des sections de l'induit aux lames du collecteur.

» Les deux extrémités d'une de ces barres étaient reliées à deux bagues sur lesquelles frottaient deux balais. Ces deux balais étaient

reliés à deux bornes du commutateur C_1 . On pouvait ainsi avoir la courbe de différence de potentiel entre les deux extrémités des barres.

» Si ces barres étaient vraiment non inductives, la courbe relevée était, à l'échelle près, la courbe du courant dans la barre. Or, ce courant ne peut avoir une certaine valeur que pendant le temps pendant lequel la lame se trouve sous le balai. Dans toute autre position il est nul. Or, la courbe que nous avons relevée avait une forme presque sinusoïdale, sa période étant égale à la durée d'un demi-tour de la machine; le passage de la lame sous le balai n'introduisait aucune déformation dans la courbe.

» Après quelques vérifications, nous avons conclu qu'on a relevé la force électromotrice induite dans la barre par les fuites magnétiques de la machine; la chute ohmique dans la barre pendant le passage de la lame sous le balai étant négligeable.

» Il serait pourtant intéressant d'appliquer cette méthode, mais sous une autre forme.

» Supposons qu'on remplace les barres de connexion, de résistance très faible, par des barres de maillechort par exemple, de résistance de 0,004 à 0,005 ohm. Supposons que l'une des barres soit enlevée et que les extrémités de la section et de la lame qu'elle réunissait, soient connectées à deux bagues (*fig. 3*). Sur ces bagues

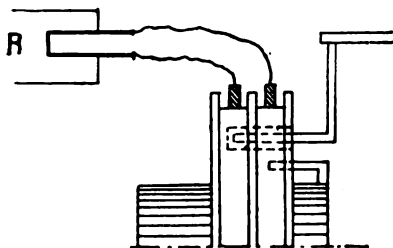


Fig. 3. — Étude de la variation du courant dans la section en court-circuit.
Première méthode.

frottent des balais réunis à une résistance R non inductive, d'environ 0,002 ohm, écartée des champs de la machine. La courbe de différence de potentiel entre deux points de cette résistance sera, à l'échelle près, la courbe du courant dans la lame du collecteur.

» Si l'on mesure, en même temps, la chute de tension entre la lame et un balai, on aura *la variation de la résistance de contact*

entre une lame du collecteur et le balai, avec la densité du courant, dans les conditions mêmes de fonctionnement de la machine.

» 2° Une autre méthode, pour l'étude de la variation du courant dans une section en court-circuit, consiste à ouvrir la section et à réunir les deux extrémités ainsi obtenues à deux bagues sur lesquelles frottent des balais. A ces balais sont réunies les deux extrémités d'une résistance non inductive fixe et écartée des champs de la machine (*fig. 1 et 4*).

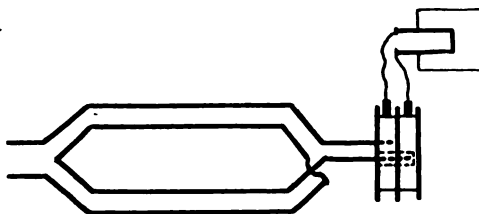


Fig. 4. — Étude de la variation du courant dans la section en court-circuit.
Deuxième méthode.

» La courbe de différence de potentiel entre deux points de cette résistance est, à l'échelle près, la courbe de la variation de l'intensité dans la section de l'induit qui lui correspond. On a étudié cette différence de potentiel par la méthode Joubert. Dans ces expériences, ainsi que dans celles du n° 3, les difficultés et les précautions à prendre étaient plus grandes que dans les autres cas, car le maximum de la différence de potentiel à mesurer était d'environ 0,12 volt ; les effets perturbateurs prenaient donc une grande importance.

» Pour ne pas introduire de dissymétrie dans la machine, on a ajouté à toutes les autres sections des résistances à peu près égales à la résistance totale introduite dans la section ouverte.

» Cette méthode, que j'avais déjà indiquée dans le rapport du 6 juin 1903, a été employée aussi par M. Czeija. Seulement, celui-ci n'introduit pas de résistances de compensation.

» Les courbes C indiquent deux courbes d'intensité relevées par cette méthode, sur une machine que la maison Breguet a construite spécialement pour mes expériences et d'après mes indications.

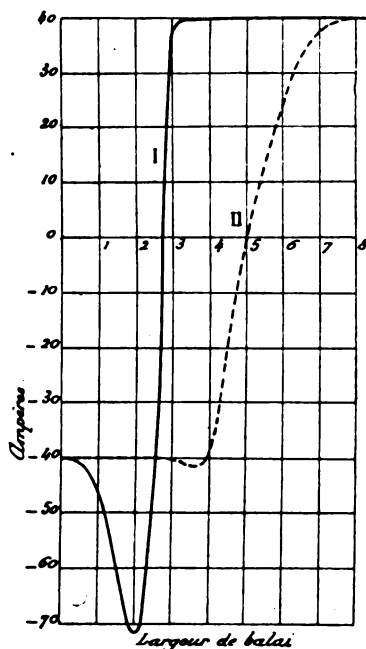
» Je donnerai, dans une Communication ultérieure, les renseignements sur cette dynamo, qui est aménagée de façon à se bien prêter à l'étude de la commutation et à d'autres questions concernant les dynamos à courant continu.

» Voici les conditions de fonctionnement de la machine :

	Vitesse de la machine en t. m.	Différence de potentiel à l'induit en volts.	Courant dans le circuit extérieur en ampères.	Décalage du balai.	Observations.
Courbe I.	975	100	40	ligne neutre	Pas d'étincelles
Courbe II.	975	100	40	environ 6 lames en arrière de la ligne neutre	Petites étincelles

» Un balai couvrait deux lames et demie. Le collecteur avait 6½ lames.

» Dans le premier cas, l'inversion du courant commence vers le



COURBES C. — Courbes d'intensité dans la spire en court-circuit. Deuxième méthode.

milieu du court-circuit et le courant prend sa valeur normale avant la fin du court-circuit. Dans le deuxième on a d'abord sous-commutation, parce que la section étant en court-circuit dans une position en arrière de la ligne neutre, le champ est trop faible; ensuite se produit l'inversion du courant et le courant prend encore sa valeur normale un peu avant la fin du court-circuit. Ce fait que l'inversion commence tard et finit avant la fin se remarque aussi sur les courbes

relevées par M. Czeija avec balais en charbon; dans notre cas, le phénomène est plus prononcé parce que chaque balai couvre deux lames et demie, les variations du courant sont donc amorties par l'induction mutuelle entre les spires en court-circuit en même temps.

» 3° Une troisième méthode employée est la suivante :

» On place parallèlement aux conducteurs de la section de l'induit dont on veut étudier la variation d'intensité de courant, une bobine de fil fin *ab* (*fig. 5*), de même nombre de spires que la section et

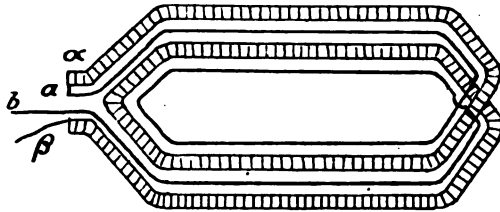


Fig. 5. — Étude de la variation du courant dans la section en court-circuit. Troisième méthode.

qui suit exactement les conducteurs, aussi près que possible d'eux.

» Si l'on admet, ce qui est vrai à très peu près, que la force électromotrice induite dans la spire à fil fin est égale à la force électromotrice induite dans la section, on a, en réunissant *a* avec α et en prenant la différence de potentiel entre *b* et β , la chute de tension

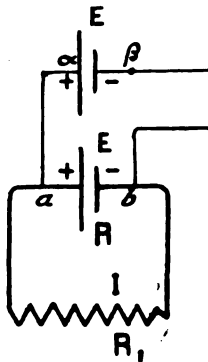


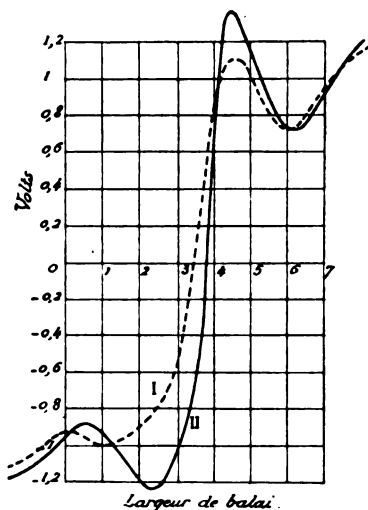
Fig. 6. -- Schéma théorique de la troisième méthode.

entre les points α et β de la section, c'est-à-dire la quantité RI , R étant la résistance de la section entre α et β et I le courant qui la traverse. La courbe de la différence de potentiel entre b et β , relevée

par la méthode Joubert, sera donc la courbe de variation de l'intensité dans la section.

» On peut voir facilement que la différence de potentiel entre b et β est égale à RI , en assimilant les deux sections (section de l'induit et bobine de fil fin) à deux piles de force électromotrice E et de résistance R : la bobine à fil fin représenterait une pile à circuit ouvert et la section induite, une pile produisant un courant I (fig. 6). Les connexions que nous avons indiquées pour les bobines correspondent aux connexions de la figure 6 pour les piles. Or, on a, si l'on appelle e la différence de potentiel entre a et b et ϵ la différence de potentiel entre b et β : $\epsilon = E - e = RI$.

» J'ai tracé deux courbes par cette méthode, chacune d'elles étant la moyenne de trois courbes tracées dans les mêmes conditions (courbes F).



COURBES F. — Courbes des différences de potentiel entre b et β . Troisième méthode.

» Ces courbes ont été tracées dans les conditions suivantes :

	Vitesse de la machine en t. m.	Différence de potentiel à l'induit en volts.	Courant dans le circuit extérieur en ampères.	Calage des balais.	Pression des balais en gr. cm ² .	Observations.
Courbe I.	920	37	160	ligne neutre	230	Petites étincelles.
Courbe II.	920	35	155	9° de la ligne neutre dans le sens de la rotation	230	—

» Chaque balai couvrait deux lames. Le court-circuit était produit par un balai positif de la machine.

» Ces courbes ont bien l'allure des courbes obtenues théoriquement, ou de celles trouvées par M. Czeija ou par moi-même, par d'autres méthodes.

» Cette méthode a un grand avantage sur les autres, c'est qu'elle ne change en rien l'état de la dynamo, et qu'elle est plus facilement applicable que les autres; mais son exactitude dépend de la façon dont on place la bobine de fil fin par rapport aux conducteurs de l'induit.

» II. *Variation de la force électromotrice induite dans une section de l'induit court-circuitée par un balai, pendant la durée du court-circuit.* — Pour obtenir les courbes qui donnent cette variation on s'est servi de fils fins placés parallèlement aux conducteurs de la section à étudier. Les deux extrémités de cette bobine étaient reliées à deux bagues et les balais frottant sur ces bagues ont été réunis à deux barres du commutateur c_1 .

» On a tracé deux séries de courbes G (page 493) pour deux positions des balais en faisant varier l'intensité du courant.

» Ces courbes ont été relevées dans les conditions suivantes :

	Vitesse de la machine en t. m.	Calage des balais.	Pression des balais en gr. cm ² .	Courant extérieur en ampères.	Force électro- motrice à l'induit en volts.	Observations.
Courbes G c.	930	5° en avant de la ligne neutre.	230	I. 0	47	Pas d'étincelles aux balais.
				II. 85	40	Très petites étincelles.
				III. 165	38	Petites étin- celles.
Courbes G d.	930	5° en arrière de la ligne neutre.	230	I. 0	49	Pas d'étincelles
				II. 50	60	—
				III. 94	46	Petites étin- celles.
				IV. 144	37	Petites étin- celles.

» On a pris comme sens positif de la force électromotrice le sens

qu'elle a, à vide, dans les sections de l'induit situées en avant de la ligne neutre dans le sens de la rotation de l'induit.

» On voit, d'après ces courbes, que la force électromotrice induite dans la section décroît et change de signe lorsque l'intensité croît; ceci provient de la réaction d'induit qui diminue le champ dans le voisinage de la ligne neutre.

» Mais la force électromotrice induite par les champs de l'inducteur et de l'induit serait presque constante; la variation brusque que nous remarquons sur chaque courbe, et qui croît avec l'intensité du courant, doit provenir de la self-induction et de l'induction mutuelle des sections en court-circuit; elle correspond bien avec l'instant où l'inversion du courant est brusque.

» Il en résulterait que la force électromotrice de self-induction joue un rôle qui n'est pas négligeable par rapport à la réaction d'induit.

» III. *Variation de la chute de tension entre un balai et une lame du collecteur pendant que le balai couvre la lame.* — J'ai employé la méthode suivante :

» La lame du collecteur était reliée à une bague montée sur le collecteur; un balai frottant sur cette bague était relié à l'une des bornes du commutateur C_1 ; à la borne opposée était relié un fil touchant un point de la face supérieure du balai.

» Ce qui semble plus intéressant à relever, c'est la différence de potentiel entre une lame et le point du balai le plus voisin. Mais j'ai vérifié que les courbes obtenues par les deux manières d'opérer sont identiques, aux erreurs d'expériences près.

» Pour cela, sur un balai de la dynamo était monté un petit balai métallique, isolé de l'autre, et ne le touchant que suivant un couteau vertical de 1,5 mm de haut et tout près de l'arrêt inférieur du balai de la dynamo. Le couteau pouvait se déplacer le long de l'arrêt et l'on s'arrangeait toujours pour que le contact se fasse tout près du milieu de la lame étudiée; l'on prenait la différence de potentiel entre ce balai métallique et la lame, et en même temps entre celle-ci et un point de la partie supérieure du balai de la dynamo.

» J'ai vérifié aussi que, pour la même position de l'induit, la

différence de potentiel est la même entre une lame et n'importe quel point de la surface du balai.

» Pour cela, en donnant aux balais de l'indicateur une position fixe, on relevait la différence de potentiel entre la lame et le balai métallique monté sur le balai de la dynamo, en faisant varier la position du couteau.

» On avait ainsi la différence de potentiel entre une lame et des points variables de la surface du balai, pour la même position de l'induit; et l'on a trouvé la même chute de tension.

» Il en résulte, d'une part, qu'il est indifférent de prendre la différence de potentiel entre deux points voisins de la lame et du balai, ou entre un point quelconque de la lame et un point supérieur du balai; d'autre part, que la chute de tension de passage (et probablement la densité du courant à la surface du collecteur) est presque la même tout le long d'une lame, pour une position déterminée de l'induit. mais qu'elle varie d'une lame à l'autre.

» L'image de la répartition de la différence de potentiel sous le balai à un instant déterminé serait donc formée d'un nombre de lignes horizontales égal au nombre de lames couvertes par le balai

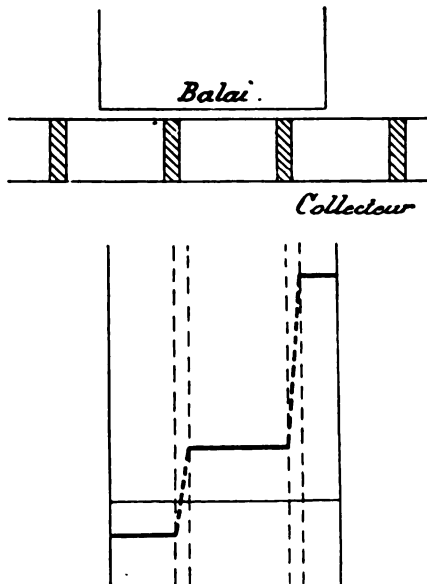


Fig. 7.

(fig. 7). Cette image change d'un instant à l'autre.

» Je vous présente aujourd'hui deux séries de courbes. Les courbes E ont été relevées en faisant varier la position des balais, toutes les autres conditions restant les mêmes, la dynamo fonctionnant à vide.

Conditions de fonctionnement de la machine.

Vitesse en t:m.	Différence de potentiel en volts.	Pression des balais en gr:cm ² .	Calage de balais.
950	115	230	{ I. 10 degrés en arrière de la ligne neutre, II. ligne neutre, III. 10 degrés en avant, IV. 20 degrés en avant.

» Les ordonnées positives indiquent que la chute de tension se fait de la lame (pôle +) vers le balai (balai +). L'abscisse zéro représente l'entrée de la lame sous le balai.

» Ces courbes nous renseignent assez bien sur ce qui se passe sous le balai. Si l'on avance les balais dans le sens de la rotation de la machine, les courbes s'inclinent en avant.

» Lorsque les balais sont en arrière de la ligne neutre, la chute de tension se fait du balai vers le collecteur (courbe I) à l'entrée de la lame sous le balai et de la lame vers le balai à la sortie.

» Si l'on avance les balais dans le sens de la rotation de la machine, la chute de tension à l'entrée diminue, s'annule et finit par changer de signe, et croît ensuite.

» Le contraire se passe à la sortie.

» Les courbes D ont été relevées en conservant la même position des balais (10° en avant de la ligne neutre) et en faisant varier le débit de la machine.

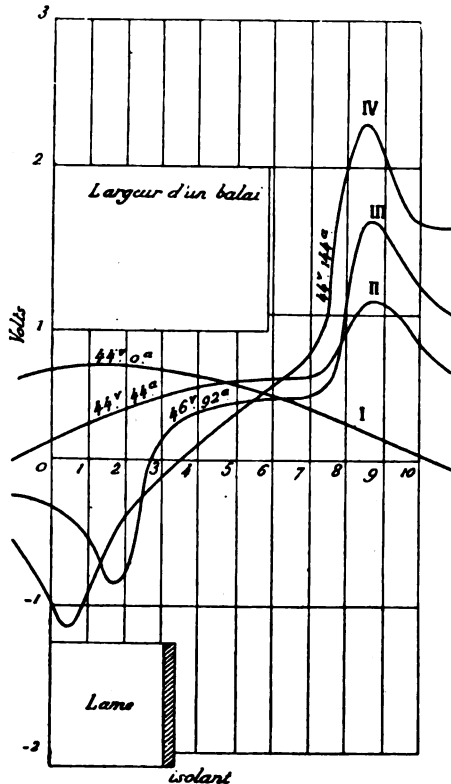
» Les conditions de fonctionnement sont les mêmes que pour les courbes E; l'intensité du courant extérieur est marquée sur chaque courbe.

» On voit que l'augmentation du débit de la machine déforme les courbes dans le même sens que le décalage du balai en arrière.

» Ceci s'explique bien par le fait que la réaction d'induit déplace en avant la position pour laquelle la force électromotrice induite dans la spire est nulle; la position relative de ce point et du balai est donc la même quand on augmente l'intensité ou que l'on déplace le balai en arrière.

» Les courbes du genre de ces deux dernières séries peuvent nous donner des renseignements intéressants en ce qui concerne la commutation.

» En effet, l'idée généralement admise aujourd'hui c'est que la



COURBES D. — Courbes de variation de la chute de tension entre un balai et une lame pendant que le balai couvre la lame. Débit variable. Calage constant.

cause des étincelles aux balais est la trop grande densité dans la lame qui entre sous le balai ou qui le quitte; cette densité produit une chute de tension d'autant plus grande qu'elle est elle-même plus grande.

» Il est donc intéressant d'étudier *la chute de tension entre le balai et une lame, surtout au moment où elle entre sous le balai ou qu'elle le quitte.*

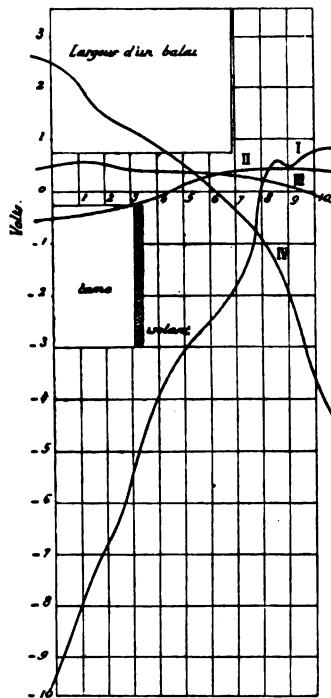
» M. Czeija, dans son travail cité, relève aussi des courbes de chute de tension sous le balai, mais il y a une grande différence entre son étude et la mienne.

» Chaque point d'une courbe de M. Czeija représente la moyenne

des différences de potentiel entre le balai et une lame, depuis que la lame touche le balai auxiliaire jusqu'à ce qu'elle le quitte; c'est donc une quantité proportionnelle à l'aire d'une portion de ces courbes comprise entre deux droites parallèles à l'axe des volts et distantes entre elles de la largeur d'une lame.

» Or, si le balai couvre peu de lames, la valeur relevée par M. Czeija pourra différer beaucoup de la vraie chute de tension vers la fin du contact entre lame et balai, qui est la plus intéressante.

» Il y a plus, les valeurs de M. Czeija sont en réalité des moyennes



COURBES E. — Courbes de variation de la chute de tension entre un balai et une lame pendant que le balai couvre la lame. Débit constant. Calage variable.

des moyennes précédentes, pour toutes les lames du collecteur. Or, dans une machine, il peut se faire que le phénomène varie d'une lame à l'autre, soit par un défaut de construction, soit par des dissymétries inhérentes à la machine : par exemple, enroulement non symétrique, position non identique des conducteurs dans les encoches.

» Par la méthode de M. Czeija on ne peut pas discerner ces différences, tandis que la mienne me permettra d'analyser les phénomènes dans tous leurs détails.

» Je me suis contenté dans cette Note de donner les méthodes et les premiers résultats. Dans une Note prochaine je donnerai des résultats assez complets sur la variation de la chute de tension entre un balai et une lame du collecteur ainsi que sur les conclusions à tirer de ces expériences.

» Je vais pourtant faire une remarque en ce qui concerne les courbes D et E.

» Sans entrer trop dans les détails, ce que je ne ferai qu'au moment où j'aurai les résultats complets sur cette question, sans admettre, avec M. Arnold, que la chute de tension sous le balai varie linéairement avec la densité du courant dans la couche de passage entre le collecteur et le balai, ce qui semble résulter des expériences faites en écartant la commutation, mais qui pourrait ne pas être

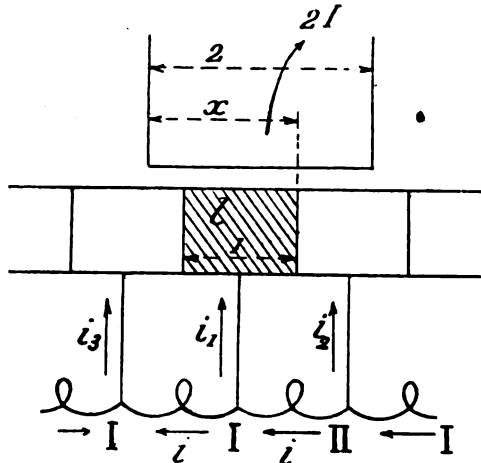


Fig. 8.

vrai dans notre cas où les étincelles ou les petits arcs qui se forment sous les balais peuvent changer les résultats, il est logique d'admettre que la différence de potentiel entre un balai et une lame est *une fonction croissante de la densité du courant dans la lame*, au moins lorsqu'on n'a pas de trop grandes étincelles aux balais. Je dis que, tant que cela est vrai, les courbes D et E peuvent nous renseigner, au moins qualitativement, sur le courant dans la spire en court-circuit et sur le champ dans le voisinage ou la force électromotrice induite dans la spire.

» Pour cela remarquons que si l'on appelle δ la densité du cou-

rant sous une lame l à un instant t , la position de la lame définie par x (fig. 8), $\Delta = \frac{2I}{S}$, S étant la surface totale du balai, les autres lettres ayant les significations des figures 8 et 9 ⁽¹⁾, on a

$$1^{\circ} \quad \delta = \Delta + \frac{\alpha'}{s} \quad \text{pour} \quad 0 \leq x \leq 1;$$

$$2^{\circ} \quad \delta = \Delta + \frac{\alpha' - \alpha}{\left(\frac{S}{2}\right)} \quad \text{—} \quad 1 \leq x \leq 2;$$

$$3^{\circ} \quad \delta = \Delta - \frac{\alpha}{s} \quad \text{—} \quad 2 \leq x \leq 3$$

(s étant la surface d'une lame couverte par le balai) en prenant la largeur d'une lame comme unité pour x , et en négligeant l'épaisseur de l'isolant.

» Remarquons aussi que si le courant dans les spires I et II varie

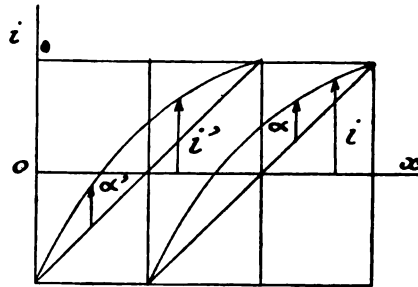


Fig. 9 ⁽¹⁾.

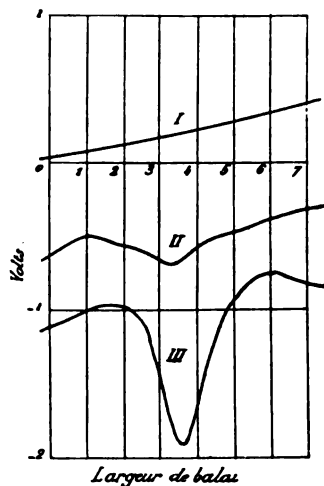
linéairement, ce qui correspond à la commutation dans les meilleures conditions, on a $\delta = \Delta = \text{const.}$, c'est-à-dire que la densité est constante sous le balai, la chute de tension entre un balai et une lame sera aussi constante et les courbes D et E deviendraient des lignes droites horizontales et au-dessus de l'axe des x , le balai considéré étant positif.

» Cette valeur de E , à laquelle correspond la valeur Δ , ne diffère pas de beaucoup de la valeur de e donnée par nos courbes, lorsque la lame est vers le milieu du balai :

» 1° Si donc une de nos courbes nous montre qu'à l'entrée

⁽¹⁾ La figure 9 représente les courbes de variation du courant dans les bobines I et II, en prenant x en abscisse et le courant i ou i' en ordonnée.

($0 \leq x \leq 1$) e est sensiblement plus petit que la valeur moyenne, c'est que $\delta < \Delta$, donc $\alpha' < 0$; on a *sous-commutation*, la force électromo-

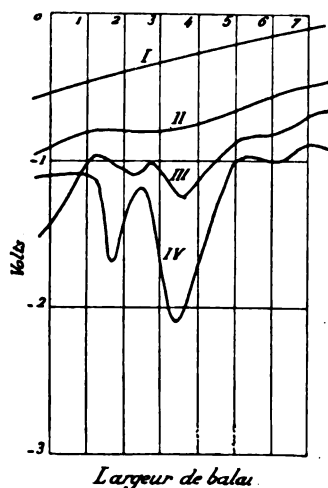


COURBES G.c. — Courbes de variation de la force électromotrice induite dans une section de l'induit pendant le court-circuit. Première série.

trice induite dans la section II au commencement du court-circuit est trop faible, le champ est trop faible.

» Le contraire arrive si $e > E$ donc $\delta > \Delta$.

» Si, vers la sortie de la lame sous le balai, on a $e > E$, il résulte



COURBES G.d. — Courbes de variation de la force électromotrice induite dans une section de l'induit pendant le court-circuit. Deuxième série.

$\delta > \Delta$, donc $\alpha < 0$; on a donc sous-commutation dans la spire I à la fin du court-circuit.

» Le contraire arrive si $e < E$ à la fin.

» D'après cette remarque, la courbe D IV, par exemple, indiquerait que le champ, dans le voisinage de la section, serait trop faible aussi bien au commencement qu'à la fin du court-circuit.

» La courbe DI indiquerait que le champ est convenable au commencement et un peu fort à la fin du court-circuit.

» La courbe E IV indiquerait que le champ est fort au commencement et à la fin du court-circuit.

» Ceci concorde bien avec ce que donne la théorie et aussi avec les courbes Gc et Gd relevées sur la même machine.

» Je termine en remerciant le Comité qui a bien voulu m'accorder la bourse Hughes, grâce à laquelle j'ai pu commencer mes expériences, et, en particulier, M. Picou, M. Janet et M. Brunswick pour l'intérêt qu'ils portent à mes expériences et pour leurs conseils, qui m'ont toujours été profitables. Je remercie aussi M. Sciana, Directeur de la maison Breguet, qui a bien voulu mettre à ma disposition la dynamo qui a servi aux expériences. »

M. le PRÉSIDENT félicite M. Iliovici pour les résultats qu'il vient d'exposer et qu'il a obtenus sous la direction de la Commission spéciale formée de MM. R.-V. Picou, P. Janet et Brunswick.

EXPÉRIENCES ET NOUVELLES CONSIDÉRATIONS
SUR LE COUPLAGE DES ALTERNATEURS EN PARALLÈLE.

M. BOUCHEROT. — « Messieurs, la communication que j'ai l'honneur de vous faire ce soir est en quelque sorte un prolongement du Rapport que je vous ai présenté dans la séance du 6 novembre 1901 au nom de la première Commission. Elle a pour but de vous apporter quelques vérifications expérimentales des formules établies à cette époque ou antérieurement, qui sont de nature à inspirer confiance dans ces formules à ceux qui peuvent être appelés à s'en servir, et de vous apporter également quelques éclaircissements et détails complémentaires. Je profiterai de l'occasion pour proposer une explication mathématique d'un fait nouveau tout à fait curieux signalé, pour la première fois, je crois, par M. H.-H. Barnes dans une conférence qu'il a faite il y a quelque temps à l'*American Institute of Electrical Engineers* de New-York et dont il a bien voulu m'envoyer le compte rendu, fait nouveau qu'il appelle *cumulative surging* et pour lequel je propose en français l'expression *balancement progressif*. Je conserverai les mêmes symboles que dans ma conférence de 1901 et je définirai ceux que je serai conduit à employer en supplément.

» Quelques mots ne seront pas inutiles en commençant. La discussion intéressante et laborieuse à laquelle un grand nombre de nos collègues ont pris part ici en 1901 a été suivie de discussions analogues dans plusieurs pays étrangers, notamment aux États-Unis, en Belgique et en Allemagne. A en juger par les traductions, les conclusions auxquelles on est arrivé dans ces pays sont d'accord avec les nôtres. Je signale plus particulièrement une traduction en douze colonnes d'un article de M. Gœrges parue dans l'*Industrie électrique* du 10 novembre 1903 : étant donné le nom de l'auteur, on ne s'étonnera pas si je dis que cet article est très bien fait. Il est au moins regrettable que ce journal n'ait pas cru devoir sacrifier seulement une colonne en 1901 pour résumer nos travaux : le lecteur aurait pu se convaincre ainsi que l'accord est absolument complet, non seulement sur les conclusions physiques ou mathématiques, mais encore sur la méthode d'exposition des phénomènes en question.

» Pardonnez-moi cette digression nécessaire, et j'arrive au sujet. En dehors du *balancement progressif* tout ce que j'ai à dire se réduit à ceci : vérification de la formule de la période propre d'oscillation des alternateurs couplés :

» 1° Directement, par la mesure de cette période ;

» 2° Indirectement, par des cas de résonance bien caractérisés, qui sont en même temps la preuve de l'importance exclusive, à cet égard, du premier terme de la série de Fourier représentative du couple dans les moteurs à vapeur à piston.

Vérifications directes de la formule de T .

» La formule générale de la période propre d'oscillation de deux alternateurs identiques couplés en parallèle, qui est aussi celle de la période propre d'un alternateur couplé sur réseau infini, est, pour une charge quelconque ⁽¹⁾,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{10J\Omega_m}{pE^2D}}$$

avec

$$2D = \frac{\omega l}{r^2 + \omega^2 l^2} - \frac{\omega(l + 2L)}{(r + 2R)^2 + \omega^2(l + 2L)^2}.$$

(Pour les symboles adoptés et les unités à employer, voir Tableau final.) Lorsque les alternateurs sont à vide ($L = 0$, $R = \infty$), si l'on néglige r^2 devant $\omega^2 l^2$, ce qui est sûrement permis, la formule devient

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{20\omega l J \Omega_m}{pE^2}},$$

qui peut se mettre sous la forme plus pratique ⁽²⁾

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{10J\Omega_m}{pE_{\phi\pi} I_{cc}}}$$

ou encore, si on laisse complètement de côté le genre d'enroulement des induits,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{PR_g^2 \Omega_m}{pkP_n}}.$$

» Les vérifications directes de T dont je veux parler ont été faites à vide. Deux procédés ont été employés :

⁽¹⁾ P. BOUCHEROT, *Lumière électrique*, t. XLV, août 1892.

⁽²⁾ Voir aussi A. BLONDEL, *Société des Électriciens*, séance du 4 janvier 1893.

» 1° La maison Breguet a bien voulu faire pour moi un certain nombre de vérifications de T , sur des alternateurs à courroie, de la manière suivante. Les deux alternateurs étaient conduits chacun par une dynamo à courant continu, de très petites dimensions, et au moyen de courroies très petites, de manière que l'élasticité et l'inertie introduites ainsi dans le système fussent à peu près négligeables devant l'inertie et l'élasticité des alternateurs; cela est facile, puisque ces dynamos n'ont à faire que 3 ou 4 pour 100 de la puissance des alternateurs; les alternateurs étaient placés de manière que leurs axes fussent dans le prolongement l'un de l'autre, et l'on observait leurs mouvements relatifs stroboscopiquement; on couplait les alternateurs avant que leurs phases soient complètement en concordance, en sorte qu'il se produisît dix ou vingt oscillations libres visibles avant la concordance complète, ce qui permettait d'en mesurer la durée. On peut voir théoriquement que la période ainsi mesurée, pseudo-période de M. Curie, est très peu différente de la période réelle; il faut ne voir qu'une ou deux oscillations pour que la période soit réellement affectée par l'amortissement. D'ailleurs, la nature même de ces expériences ne permettait pas une exactitude très grande, 5 ou 10 pour 100. Ce fut cependant suffisant pour constater l'exactitude de la formule à cela près et pour trancher une autre question sur laquelle je reviendrai tout à l'heure.

» 2° Les autres vérifications directes que j'ai à mentionner ont été faites par la *Stanley electric manufacturing Co*, de Pittsfield, qui a bien voulu m'en communiquer une partie au mois de mai 1902 dans une lettre assez intéressante pour être reproduite presque complètement :

« Cher Monsieur, nous avons lu avec le plus grand intérêt vos » études de 1892, 1899 et de novembre de l'année dernière au sujet » de l'accouplement des alternateurs en parallèle, et croyons que » les données qui suivent pourront vous intéresser, résultat de » nombreuses expériences, inspirées en partie par vos travaux, que » nous avons faites à cet égard avec quelques alternateurs sortis de » nos ateliers et directement accouplés à des machines à vapeur.

» La formule pour le calcul de la période d'oscillation naturelle » à vide que vous indiquiez il y a déjà dix ans nous a rendu de

- » grands services, vu la très grande approximation qu'elle permet.
 » Les Tableaux suivants démontrent l'exactitude du calcul ⁽¹⁾.

Usine.	Capacité des alternateurs en kilowatts.	Tours par minute.	Courants.	Période		Différence.
				observée.	calculée.	
1	500	100	biphasés	1,15	1,22	+ 6 p. 100
2	500	100	triphasés	1,34	1,40	+ 4 —
3	500	100	biphasés	0,97	1,01	+ 4 —
4	750	90	—	1,25	1,26	+ 1 —
5	330	164	—	1,01	1,10	+ 9 —
6	500	100	—	0,74	0,77	+ 4 —

- » Tous ces alternateurs sont à 120 alternances et construits,
 » comme la plupart des machines fournies par nous, comme géné-
 » rateurs inducteurs, c'est-à-dire avec des pôles nus tournants et
 » seulement une bobine excitatrice stationnaire. Il n'y a aucune
 » espèce d'amortissement sur les pôles.

- » Nous avons obtenu les chiffres suivants en faisant marcher les
 » générateurs en parallèle sur un nombre limité de phases.

Usine.	Phases en parallèle.	Période	
		observée.	calculée.
1	1	1,83	1,85
2	2	1,79	2,04
2	1	1,39	1,44
4	1	1,67	1,84

- » La différence est plus grande qu'auparavant, car les courants en
 » court-circuit sont calculés pour le nombre normal de phases, ce
 » qui explique la divergence en partie.

- » C'est surtout dans les machines avec une période naturelle deux
 » ou trois fois plus longue que la durée d'une révolution ⁽²⁾, que
 » nous avons rencontré des difficultés pour régler la marche en
 » parallèle.

⁽¹⁾ Je réunis les deux Tableaux en un seul en les réduisant un peu. P. B.

⁽²⁾ On remarquera en effet que ces machines ont de très lourds volants, atteignant jusqu'à près de huit fois le volant de résonance pour l'usine n° 3. Je reviendrai sur ces faits dans une étude ultérieure. P. B.

» Si les régulateurs des machines à vapeur n'ont pas une marche
» très dure, les courants synchronisants augmentent lentement,
» mais sans arrêt, et la période naturelle est celle qui détermine les
» oscillations. Une fois qu'on a suffisamment amorti les régulateurs,
» les courants synchronisants décroissent, et les petites oscillations
» qui restent suivent, non plus la période naturelle, mais celle des
» révolutions ⁽¹⁾. Dans les machines avec une période naturelle
» plus courte, comme dans les usines n^{os} 3 et 6, les difficultés sont
» bien moindres.

» Nous croyons donc que, *sauf dans le cas de résonance électromé-*
» *canique*, les difficultés qu'on rencontre dans l'accouplement en
» parallèle sont dues uniquement aux régulateurs ou bien parfois
» aux tiroirs des machines à vapeur ⁽²⁾. En même temps l'écart
» angulaire, sauf encore dans le cas de résonance, nous paraît d'une
» importance négligeable. Dans une machine compound, par
» exemple, la marche à vide est plus stable lorsqu'on a découplé un
» cylindre de chaque machine.

» En baissant la tension d'un générateur qui marche mal à tension
» normale, on arrive toujours à une tension critique au-dessous de
» laquelle les machines marchent bien. C'est encore l'influence de
» la période naturelle sur l'action du régulateur. Car on obtient le
» même résultat en augmentant la durée de la période, non pas en
» abaissant la tension, mais en mettant des machines triphasées en
» parallèle sur une phase seulement, par exemple ⁽³⁾.

» Pour les machines à grande vitesse, il nous paraît que ce ne
» sont plus des régulateurs très durs qu'il faut pour assurer la
» marche stable, mais plutôt des régulateurs à réaction rapide. Dans
» ces machines à grande vitesse, nous croyons aussi avoir observé
» que les oscillations qui persistent pendant la marche ont la période
» naturelle et non pas celle des tours, comme dans le cas des

(1) C'est d'ailleurs en supprimant l'amortissement des régulateurs que ces messieurs ont mesuré les périodes ci-dessus sur les indications des appareils de mesure.

(2) Voir plus loin aussi le « Balancement progressif ».

P. B.

(3) Il y a là des résultats en apparence contradictoires puisque l'augmentation du volant, la diminution de la tension, la diminution du nombre de phases en parallèle, ont toutes pour résultat d'allonger la période ; mais tout ceci peut s'expliquer par l'influence combinée du régulateur et du « Balancement progressif » que je développerai dans une étude ultérieure.

» machines à basse vitesse lorsque ces dernières travaillent bien ensemble. »

» Le reste de la lettre ne contient que des compliments auxquels je suis très sensible étant donnée leur origine.

» Par une lettre postérieure, j'ai appris que l'on avait encore vérifié la formule sur plusieurs autres machines.

» Enfin, M. H.-H. Barnes, dans la conférence à laquelle j'ai fait allusion au début, fixe à + 3 pour 100 l'erreur moyenne de la formule pour une douzaine d'installations. La période observée paraît toujours un peu plus courte que la période calculée. En tout cas, l'approximation est très suffisante au point de vue industriel, si l'on songe que la détermination, par le calcul, du moment d'inertie de pièces de formes compliquées n'est pas toujours facile.

» Les harmoniques de la force électromotrice et du courant de circulation doivent contribuer dans une certaine mesure à fausser les résultats. Ils semblent influencer dans le sens des erreurs observées (T observé plus petit que T calculé), car si d'une part I_{cc} se trouve diminué, pour une même valeur de E_{eff} , par la présence des harmoniques, le p à introduire pour chacun d'eux dans la formule de T est beaucoup plus grand que celui correspondant au terme principal (étant entendu qu'il ne s'agit que de très petits angles). Il semble donc bien qu'ils aient pour effet de diminuer T .

» La variation de la self-induction pendant la période doit aussi avoir une influence quand elle est grande; mais elle est en général, avec des machines bien faites, négligeable.

» Il y a une influence qui peut être beaucoup plus grande que celles-ci et qui pourrait fausser les résultats de 20, 30 ou 40 pour 100 si l'on n'y prenait garde: c'est celle de la saturation magnétique. Avec des alternateurs travaillant sur la partie droite de la caractéristique, il n'y a pas à se soucier, dans les calculs de T , de l'influence des ampères-tours absorbés par la partie métallique du circuit magnétique; il n'en est plus de même avec des alternateurs travaillant au delà du coude de la caractéristique à circuit ouvert (*fig. 1*). Le bon sens indique dans ce cas qu'il faut prendre pour I_{cc} , non pas le courant de court-circuit OC correspondant au point A de fonctionnement, mais le courant OD correspondant au point B pris sur le prolongement rectiligne de la partie droite de la caractéristique à

circuit ouvert. Le bon sens et l'expérience : la maison Breguet a bien voulu faire, à ma demande, des mesures au moyen de la méthode décrite plus haut, et, si peu parfaite que soit cette méthode, qui a cependant l'avantage d'être directe, elle a permis de constater très

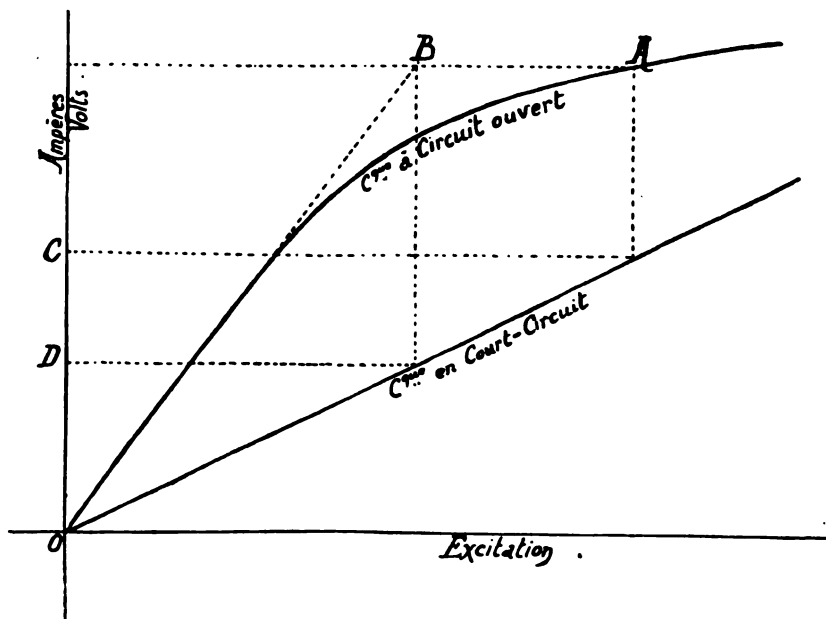


Fig. 1.

nettement le fait, les expériences ayant pu être réalisées dans des conditions telles que OC était presque double de OD, c'est-à-dire que les deux périodes calculées par les deux méthodes se trouvaient presque dans le rapport de $\sqrt{2}$ à 1.

» Voici, d'ailleurs, la comparaison des chiffres :

Tension.	T calculé		T mesuré.
	par la droite.	par la courbe.	
139 volts.....	0,78	0,78	0,73
245 —	0,44	0,36	0,48
258 —	0,42	0,32	0,44

» Ces mesures directes de T par le nombre d'oscillations libres et amorties, se produisant dans un temps donné aussitôt après le couplage, m'ont permis aussi de faire une autre constatation intéressante : c'est que l'amortissement est bien plus faible que je ne

croyais *a priori* et, en particulier, plus faible que je ne l'ai admis dans mon étude de 1901.

» Lorsque, pendant des oscillations libres, l'amplitude se trouve réduite au $\frac{1}{10}$ de sa valeur initiale après 10 oscillations, cela veut dire que l'on a un amortissement environ 30 fois plus petit que l'amortissement critique. C'est à peu près ce que nous avons avec des pôles pleins en acier; je n'ai pas encore eu l'occasion de faire les mêmes expériences avec pôles feuilletés. L'amortissement critique étant défini, dans le cas d'alternateurs, par

$$C_a^2 = 4C_s J \Omega_m^2,$$

il en résulte que, dans le cas de pôles massifs, le glissement g à introduire dans les formules et défini comme le rapport du couple normal en charge C_u à C_a vaut 0,6. J'avais admis 0,1 en 1901 de sentiment, n'ayant aucun chiffre expérimental. Je ne serais pas surpris que cette valeur de g soit encore 0,1 (au lieu de 0,02 admis en 1901) pour des amortisseurs Leblanc, et que g atteigne 5,10 et peut-être plus pour des pôles feuilletés.

» Nous n'examinerons pas en détail comment cette augmentation de g peut influencer sur certains chiffres de notre communication de 1901; cela nous entraînerait trop loin; chacun pourra d'ailleurs le faire à son gré.

Vérifications indirectes de T ; cas pratiques de résonance.

» Je profite de ce que j'arrive aux oscillations forcées pour vous demander la permission de faire justice une bonne fois de cette objection, qui m'a déjà été faite en 1892, et renouvelée par M. Rateau en 1901, que, même avec un couple moteur constant, la vitesse d'un alternateur ne peut pas être admise comme constante, le couple résistant étant variable pendant une période du courant. Je vais vous montrer que cette variation de vitesse est aussi négligeable dans un alternateur-volant à grand nombre de pôles que dans un turbo-alternateur à petit nombre de pôles. Je choisirai de préférence le cas d'un alternateur monophasé qui donne la plus grande variation. La partie variable C_o du couple résistant est alors égale à la partie constante et, par conséquent, à C_n à pleine charge; il suffit donc de

•

supposer que le couple moteur, au lieu d'être constant, contient un terme en $C_n \cos 2p\Omega_m t$.

» L'écart angulaire dû à cette partie variable est alors, au maximum,

$$\theta = \frac{C_n}{8p^2 W} \text{ (p. 541),}$$

W étant, comme toujours, l'énergie emmagasinée dans le volant que nous poserons égal à a fois le volant de résonance

$$W = aW_r$$

(W_r , volant de résonance pour la période τ de rotation de la machine motrice).

» D'où

$$W = \frac{a C_n p k}{2} \text{ (p. 545)}$$

et, finalement,

$$p\theta = \frac{1}{4akp^2}.$$

» Appliquons d'abord cette formule au cas d'un alternateur-volant ordinaire à 80 pôles ($p = 40$), ayant $k = 2$ et $a = 2$ (volant relativement léger); il vient

$$p\theta = \frac{1}{25600}, \text{ soit environ } \frac{1}{450} \text{ de degré dans la période.}$$

» La variation de vitesse est de 0,008 pour 100.

» Appliquons maintenant la formule au cas d'un turbo-alternateur sur lequel j'ai quelques renseignements. Cet alternateur est de 1100 kilowatts; le moment d'inertie en est très petit, $J = 35$, ce qui ne vous surprend pas; mais ce qui vous surprendra peut-être, c'est que, malgré cette petitesse, le volant est environ 300 fois le volant de résonance. En effet, la machine est à 4 pôles, 50 périodes par seconde, $k = 2$ environ :

$$W = \frac{1}{2} 35 \cdot (157)^2 = 30000 \text{ kgm,}$$

$$W_r = \frac{110000 \cdot 2 \cdot 2}{2 \cdot 157} = 1400 \text{ kgm.}$$

» On a donc pour α un peu plus de 300. Donc

$$p\theta \doteq \frac{1}{9600}, \text{ soit environ } \frac{1}{170} \text{ de degré dans la période.}$$

» La variation de vitesse est de 0,02 pour 100.

» L'objection n'a donc pas plus de valeur pour les turbo-alternateurs que pour les alternateurs-volants, et la théorie est légitime dans les deux cas.

» J'ai, en outre, une rectification à faire : dans mon rapport du 6 novembre 1901, j'ai attribué par erreur à M. Blondel une opinion qui n'est pas la sienne. J'ai dit (p. 541) que M. Blondel, après avoir rappelé que dans tout système élastique l'inertie et l'élasticité produisent des effets, n'en conclut pas moins quelques lignes plus loin que c'est le couple synchronisant qui limite les oscillations alors qu'au contraire il les amplifie. Je faisais allusion à la page 147 du *Bulletin* (t. X, 1893) où M. Blondel montre que la formule qui donne l'amplitude des oscillations (non amorties) contient en dénominateur le terme

$$\left(1 - \frac{T^2}{\tau^2}\right),$$

où T est la période propre de l'alternateur et τ celle du couple perturbateur, et conclut que, pour réduire l'amplitude, on devra « donner au dénominateur une grande valeur positive ou négative » sans le rendre jamais nul ».

» Il ajoute : « Dans la plupart des alternateurs actuels $\frac{T}{\tau}$ est inférieur à 5 et par suite l'inertie ne joue aucun rôle appréciable dans les oscillations, celles-ci ne sont donc *limitées que par les variations du couple électromagnétique déterminé plus haut.* »

» Ce sont ces derniers mots qui m'ont induit en erreur ; si l'on se rappelle que T^2 est proportionnel au moment d'inertie, la phrase dans son ensemble est dépourvue de sens, la conclusion est opposée aux prémisses ; mais M. Blondel m'a fait savoir que le 5 est une faute d'impression et qu'il fallait lire 0,5. La conclusion est alors correcte.

» Il eût été toutefois plus rigoureux de dire que dans ce cas une faible augmentation du moment d'inertie serait nuisible.

» M. Blondel ajoutait d'ailleurs qu'un alternateur, dans ces conditions, accouplé à un moteur à couple très irrégulier, pourrait donner lieu à des oscillations trop étendues, et qu'il fallait alors augmenter l'inertie, réelle ou fictive, de l'alternateur jusqu'à ce que $\frac{T^2}{\tau^2}$ soit au moins égal à 2.

» Une lecture trop hâtive et une faute d'impression ont donc causé ce malentendu aujourd'hui éclairci. Je profite avec plaisir de l'occasion qui m'est offerte pour rappeler que, dans son travail de 1892 (*Lumière électrique*, t. XLV et XLVI), M. Blondel avait indiqué l'utilité de la décomposition du couple perturbateur en série de Fourier, et donné la formule qui exprime l'écart angulaire θ maximum en fonction du couple perturbateur, de l'inertie et du couple synchronisant.

» J'ai beaucoup insisté sur ce point, en 1901, que la résonance peut se produire pour le premier terme de la série de Fourier représentative du couple moteur bien plus facilement que pour les autres, eu égard aux circonstances ordinaires d'application, autrement dit que, pour éviter la résonance, il faut que la période propre T soit plus grande, non seulement que la période des coups de piston, mais que la période d'un tour de la machine à vapeur. Je ne reviendrai pas sur cette question, mais je ne puis laisser passer sans rectification cette phrase de M. de Marchena (1) dans sa Communication sur l'influence des régulateurs sur le fonctionnement en parallèle des alternateurs : « Or, avec les alternateurs à réaction notable qui » sont d'emploi le plus commun et avec les volants normaux, la » fréquence de ces dernières (oscillations propres) est rarement » supérieure à 60 par minute pour les alternateurs à 50 cycles, » tandis que la fréquence des impulsions est de 150 à 200 par » minute pour des machines monocylindriques tournant aux vitesses » usuelles de 75 à 100 tours. »

» Nous verrons plus loin que la fréquence des oscillations propres peut atteindre, dans certains cas, 100 par minute, et comme, par contre, pour des machines mono- ou polycylindriques, faisant 75 à 100 t : m, la fréquence des impulsions est de 75 à 100 : m (et non le double), les conclusions à tirer du rapprochement sont inverses de

(1) *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, novembre 1902, p. 755.

celles tirées par M. de Marchena et la résonance se produit plus souvent qu'on ne voudrait.

» En disant que les impulsions sont de même fréquence que la rotation, je n'exclus pas celles qui ont la fréquence des coups de piston. Comme je l'ai montré en 1901, la série représentative du couple moteur doit avoir pour *premier terme* celui correspondant à la dissymétrie du couple dans un tour, de fréquence égale à celle de rotation, puis une série d'autres termes, dont tous les impairs ont la même origine que le premier. Le premier n'est pas le plus fort en amplitude, mais c'est le plus dangereux, parce que, à égalité d'amplitude, il donne un écart angulaire quadruple du deuxième et surtout parce qu'il peut entrer beaucoup plus facilement en résonance que le deuxième.

» En fait, pratiquement, il n'y a à s'occuper que du premier terme.

» Une observation très facile que tout le monde peut faire, dans une centrale quelconque, quand il y a deux alternateurs identiques dans le prolongement l'un de l'autre, prouve d'un seul coup deux de mes assertions de 1901. En regardant une des machines à travers l'autre, on constate ceci : un peu avant le couplage en parallèle le mouvement de l'image est continu avec superposition d'une légère oscillation *de même fréquence que la rotation*, ce qui prouve bien que, même avant le couplage, c'est le premier terme le plus important ; puis, aussitôt le couplage fait, le mouvement continu cesse et l'oscillation subsiste *avec une certaine amplification*, ce qui prouve que l'écart angulaire est augmenté par le couplage. Même sans se livrer à des expériences précises, à l'œil, on constate que σ , que j'ai défini en 1901 comme le rapport de l'écart angulaire après couplage θ_c à l'écart avant couplage θ , est très sensiblement égal à la valeur donnée par la valeur (p. 545)

$$\sigma = \frac{W}{W - W_r}.$$

» Évidemment, on peut avoir parfois, même assez souvent, une oscillation longue due au régulateur, se superposant à celle du tour ; mais, lorsqu'elles ne sont pas trop voisines, il n'y a pas à s'y tromper. Quand la période de l'oscillation forcée diffère peu de celle de l'oscillation due au régulateur, laquelle est la période propre T ,

les deux oscillations interfèrent et l'on voit alors, comme résultante, une oscillation de période *moyenne* dont l'amplitude est elle-même périodique. Ce cas se produit dans une usine C. D'autres cas singuliers peuvent encore se produire.

» Il arrive aussi quelquefois, rarement, que l'oscillation de période τ disparaisse pour ne laisser place qu'à l'oscillation de période $\frac{\tau}{2}$, due aux coups de piston; mais c'est là un fait très rare qui suppose que, momentanément, deux dissymétries inverses s'annulent; par exemple, celle due à l'obliquité des bielles et celle due à la distribution, ou celle due à un balourd dans le volant.

» Il serait très imprudent de tabler sur cette annulation qui ne constitue qu'un fait exceptionnel et accidentel.

» Cette vérification grossière de σ , que j'ai eu l'occasion de faire plusieurs fois, constitue une vérification indirecte de la formule de T . D'autres vérifications sont fournies par des cas de résonance bien caractérisés du premier terme de la série de Fourier.

» M. Guilbert a bien voulu me fournir les renseignements suivants :

» Dans une usine A, les alternateurs ont les constantes suivantes :

$$E_{\text{eff}} = 3000,$$

$$I_{cc} = 220,$$

$$J = 19400,$$

$$\Omega_m = 6,28,$$

$$f = 40,$$

d'où

$$T = 1,34 \text{ à vide,}$$

$$\tau = 1.$$

» Dans des conditions normales, le couplage en parallèle est assez bon, mais on a remarqué, à deux reprises différentes, que si, en charge, par suite de fausses manœuvres les excitations se trouvent trop poussées dans quelques unités, le décrochage est imminent, et manifestement dû aux oscillations forcées.

» L'écart de 1,34 à 1 semble cependant assez grand, mais il faut tenir compte de ce que, comme nous verrons plus loin, T diminue

en charge déwattée; avec les machines en question, il devient :

Pour un débit déwatté de 100 ampères.....	$T = 1,11$
» 200 »	$T = 0,97$

(en supposant qu'on maintienne la tension constante aux bornes).

» La résonance n'est pas douteuse.

» Elle est certaine dans le cas suivant qu'un autre de nos collègues a bien voulu me faire connaître.

» Une usine B fonctionne depuis très longtemps avec des alternateurs ayant

$$E_{\text{eff}} = 3000,$$

$$I_{cc} = 185,$$

$$J = 1260,$$

$$\Omega_m = 13,$$

$$f = 42,$$

d'où

$$T = 0,75 \text{ à vide,}$$

$$\tau = 0,48.$$

Le fonctionnement est satisfaisant.

» On installe une nouvelle machine ayant

$$E_{\text{eff}} = 3000,$$

$$I_{cc} = 420,$$

$$J = 19200,$$

$$\Omega_m = 10,$$

$$f = 42,$$

d'où

$$T = 1,5 \text{ à vide,}$$

$$\tau = 0,62,$$

et elle fonctionne bien avec les autres.

» On installe une nouvelle machine ayant

$$E_{\text{eff}} = 3000,$$

$$I_{cc} = 760,$$

$$J = 4150,$$

$$\Omega_m = 13,$$

$$f = 42,$$

d'où

$$T = 0,675 \text{ à vide,}$$

$$\tau = 0,48.$$

T et τ en sont trop voisins, le fonctionnement en parallèle de cette machine avec les autres est mauvais, impossible dans certains cas.

» On installe deux nouvelles machines ayant

$$E_{c\pi} = 3000,$$

$$I_{cc} = 360,$$

$$J = 1260,$$

$$\Omega_m = 13,$$

$$f = 42,$$

d'où

$$T = 0,54 \text{ à vide,}$$

$$\tau = 0,48.$$

» Ces deux machines ne peuvent pas être couplées en parallèle, même à vide, soit entre elles, soit avec les autres.

» Ces quelques exemples suffisent, je pense, pour montrer que le danger de la résonance électromécanique n'est pas chimérique.

Meilleures valeurs de T .

» Il semble résulter de ces chiffres que la période propre calculée à vide doit être supérieure d'au moins 60 à 70 pour 100 à la période de rotation, ce qui revient à dire que le volant à admettre doit être d'au moins 2,5 à 3 fois le volant de résonance W_r à vide défini par

$$W_r = \frac{C_n \rho k}{2} = \frac{E_{c\pi} I_{cc} \rho}{2 \Omega_m}$$

(en multipliant par 2 s'il y a deux phases, par $\sqrt{3}$ s'il y en a trois, etc.).

» T étant variable avec la charge, ce volant doit être plus ou moins grand suivant que l'alternateur est à plus ou moins grande réaction.

» Voyons en effet comment T varie avec la charge

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{10 \cdot J \Omega_m}{\rho E^2 D}}.$$

» Si l'on maintenait l'excitation constante (E constant), T varierait seulement avec D .

» En négligeant encore r , D peut s'écrire plus simplement

$$D = \frac{2R^2 + \omega^2 L(l + 2L)}{\omega l [4R^2 + \omega^2 (l + 2L)^2]}.$$

» Dans ces conditions, on aurait

$$\text{A vide, } R = \infty, L = 0 \dots \dots \dots D = \frac{1}{2\omega l}$$

$$\text{En charge wattée, } L = 0 \dots \dots \dots D = \frac{2}{\omega l \left(4 + \frac{\omega^2 l^2}{R^2} \right)}$$

$$\text{En charge déwattée, } R = 0 \dots \dots \dots D = \frac{1}{\omega l \left(2 + \frac{l}{L} \right)}$$

donc T augmenterait avec la charge, quelle que soit sa nature.

» Mais ce ne sont pas là les conditions réelles dans lesquelles on se trouve en pratique. On fait en réalité varier l'excitation avec la charge, de manière à maintenir la différence de potentiel aux bornes e constante; de sorte qu'il faut considérer le produit $E^2 D$ et ses variations.

» En négligeant toujours r , on peut écrire

$$E^2 D = \frac{e^2}{4\omega l} \frac{2R^2 + \omega^2 L(l + 2L)}{R^2 + \omega^2 L^2},$$

et, dans ces conditions, on a

$$\text{A vide, } R = \infty, L = 0 \dots \dots \dots E^2 D = \frac{e^2}{2\omega l}$$

$$\text{En charge wattée, } L = 0 \dots \dots \dots E^2 D = \frac{e^2}{2\omega l}$$

$$\text{En charge déwattée, } R = 0 \dots \dots E^2 D = \frac{e^2}{4\omega l} \left(2 + \frac{l}{L} \right)$$

c'est-à-dire que T ne varie pas avec la charge wattée, mais *diminue* avec la charge déwattée.

» Voyons alors l'ordre de grandeur de la variation de T , en supposant, pour exagérer un peu, que l'on débite le plein courant en déwatté.

» Pour un alternateur à faible réaction ($k = 1$), $\frac{l}{L}$ est au plus égal à $\frac{1}{2}$, et T ne diminue que de 10 pour 100.

» Pour un alternateur à grande réaction ($k = 1$), $\frac{l}{L}$ est au plus égal à 2, et T diminue de 29 pour 100 $\left(\frac{T}{\sqrt{2}}\right)$.

» Dans ce dernier cas, si l'on veut que σ ne dépasse jamais 2, il faut admettre comme volant quatre fois le volant de résonance; dans le premier cas, il suffit d'admettre comme volant deux fois et demie le volant de résonance.

» Ce sont là des *limites inférieures* imposées par la considération de σ , c'est-à-dire de l'amplification de l'écart angulaire par le couplage en parallèle. A ces volants correspondent des valeurs de T à vide qui sont :

$T = 1,6\tau$ dans le premier cas,

$T = 2 \quad \tau$ dans le second cas.

» Y a-t-il une limite supérieure? Il semble que oui, eu égard à l'influence des régulateurs, seule ou combinée à la cause du balancement progressif. Cette limite supérieure semble être $T = 2\tau$.

» La Compagnie Stanley, qui a réalisé un assez grand nombre d'installations avec des alternateurs volants, a fait en particulier une série d'expériences intéressantes sur trois usines dans lesquelles les alternateurs et les machines à vapeur sont identiques (groupes de 500 kilowatts) et la différence ne porte que sur les volants. Les alternateurs sont à faible réaction ($k = 3,5$). Dans la première usine, les volants valent environ 2,5 fois le volant de résonance; dans la deuxième, 4 fois; dans la troisième, 6 fois. Or, dans la première usine, le couplage se comporte bien avec un amortissement modéré aux régulateurs; dans la deuxième, il a fallu un amortissement énergique, et, dans la troisième, il n'a pas été possible de fonctionner, quel que soit l'amortissement des régulateurs, même sans régulateurs; il a fallu modifier les alternateurs.

» L'explication que je propose plus loin du balancement progressif suffit à l'intelligence de ces faits; et il semble bien qu'à divers points de vue, il faille éviter les volants trop lourds.

» Nous allons alors montrer qu'avec des volants compris entre 2 et 4 fois le volant de résonance, il n'y a pas à craindre certains accidents, autres que ceux de résonance, qui pourraient se produire avec des volants plus légers ou plus lourds.

» *Écart angulaire θ* . — Constatons d'abord que, suivant la remarque contenue dans la Lettre précédente de la Compagnie Stanley, avec ces valeurs de volants, il n'y a pas à se préoccuper de l'écart angulaire en lui-même pour des moteurs à vapeur se trouvant dans des conditions normales.

» Il résulte en effet des analyses de couples auxquelles je me suis livré il y a trois ans, et que vous trouverez dans le *Bulletin*, que la demi-amplitude C_0 du premier terme de la série de Fourier ne dépasse jamais $0,15 C_n$, c'est-à-dire 15 pour 100 du couple moyen en charge.

» Or l'écart angulaire θ , du moteur *isolé*, correspondant au premier terme de Fourier est (p. 541)

$$\theta = \frac{C_0}{J\Omega_m^2}.$$

» Avec $C_s = 0,15 C_0$, $W = a W_r$ et $W_r = \frac{C_n p k}{2}$, cela conduit à

$$p\theta = \frac{0,15}{a.k}.$$

» Dans les conditions les plus défavorables, $k = 1$, $a = 2$, on a donc $p\theta = 0,075$, c'est-à-dire environ 4 degrés *dans la période*. Ce chiffre peut être doublé par le couplage. Le deuxième terme de Fourier, pour lequel C_0 est environ $0,6 C_n$, mais qui n'est que très peu amplifié par le couplage, conduit aussi à environ 4 degrés. Les autres termes ne donnent rien d'appréciable. L'écart angulaire total, la machine couplée, sera donc de 10 à 12 degrés *dans la période*, c'est-à-dire raisonnable. Avec a plus grand et k plus grand, il pourra se trouver réduit à 2 ou 3 degrés.

» A ce point de vue donc, deux fois le volant de résonance serait suffisant.

» C'est ici le moment de faire remarquer que les écarts angulaires de 30 à 45 degrés dont on a parlé quelquefois ne sauraient être admis sérieusement, même en les considérant comme écarts *après couplage*.

» Le chiffre de 10 degrés que j'avais indiqué il y a 12 ans comme chiffre raisonnable (20 degrés entre deux alternateurs) subsiste entièrement aujourd'hui et est encore le meilleur. Il faut tenir compte,

en effet, ainsi que je le disais à cette époque (1), de ce que la tension aux bornes baisse quand l'écart angulaire augmente, sa valeur étant

$$e_n = E \sqrt{\frac{R^2 + \omega^2 L^2}{(r + 2R)^2 + \omega^2 (l + 2L)^2}} (1 + \cos 2\theta_c)$$

($2\theta_c$, écart entre les deux alternateurs, dans la période).

» Ainsi pour $\theta_c = 10$ degrés la tension varie de 1,5 pour 100, ce qui est admissible, même pour des variations périodiques, tandis qu'une variation de 6 pour 100, correspondant à $\theta_c = 20$ degrés, ne l'est certainement plus.

» Remarquons d'ailleurs qu'à l'écart angulaire dû aux oscillations forcées peuvent s'ajouter des écarts momentanés tels que ceux que nous allons examiner maintenant.

» *Perturbations passagères.* — Dans un moteur à vapeur, aussi bien fait qu'il soit, il peut arriver qu'il y ait par moments de petites différences dans l'admission entre une cylindrée de vapeur et ses voisines. M. David, que j'ai consulté à cet égard, m'assure que, dans une bonne machine, la différence de travail entre une cylindrée et ses voisines ne dépasse pas 2 pour 100. Il est évident qu'une telle différence *passagère* n'a pour effet que de produire une élongation (suivie de quelques oscillations libres et amorties), mais il faut encore que cette élongation soit faible, tout au plus de quelques degrés dans la période. Nous allons calculer cette élongation θ_m en supposant l'amortissement nul, ce qui nous donnera une valeur un peu trop forte.

» Nous supposerons, pour simplifier, que l'oscillation forcée n'existe pas, de manière à ne pas avoir besoin de tenir compte du moment précis où se produit l'introduction de l'énergie extérieure nouvelle W_e dans le système. En faisant ainsi nous obtiendrons la plus grande valeur de θ_m qui puisse se produire.

» Puisque nous supposons nul l'amortissement, après l'introduction de l'énergie W_e dans le système, l'alternateur envisagé oscille librement, et sa vitesse est

$$\Omega_m(1 + \varepsilon \sin \alpha t),$$

(1) *Lumière électrique*, 6 août 1892.

avec

$$\alpha = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{C_s}{J}}.$$

» Chaque fois qu'il repasse par sa position d'équilibre, sa vitesse (maxima à ce moment) est

$$\Omega_{\max} = \Omega_m(1 + \varepsilon),$$

et, comme l'énergie emmagasinée l'est entièrement sous la forme cinétique (pour $\theta = 0$, $C_s\dot{\theta} = 0$), on a

$$W_e = \frac{J}{2} (\Omega_{\max}^2 - \Omega_m^2).$$

» D'où, en négligeant ε^2 devant 2ε ,

$$\varepsilon = \frac{W_e}{J\Omega_m^2}$$

et finalement

$$\theta_m = \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\Omega - \Omega_m) dt = \frac{\Omega_m \varepsilon}{\alpha} = \frac{W_e}{\sqrt{2} W C_s},$$

ou encore

$$\theta_m = \frac{W_e}{2\sqrt{W W_r}}.$$

» Le travail par cylindrée est $C_n \pi$. En posant alors $W_e = 0,02 C_n \pi$ et $W = 2 W_r$, il vient

$$p \theta_m = \frac{0,014 \pi}{k},$$

soit, pour $k = 1, 2, 5$ degrés *dans la période*.

» Avec deux fois le volant de résonance, on marchera donc sans ennui sérieux même avec des différences passagères dans les cylindrées atteignant 10 pour 100.

» *Facilité de mise en parallèle.* — Il convient de remarquer ici qu'avec des volants très lourds on peut se trouver aux prises avec de grandes difficultés pour l'opération de la mise en parallèle. Par exemple, avec un volant infini, il serait impossible de faire le couplage, si petite que soit la différence de vitesse au moment de cette opération.

» Comme c'est ici l'excès de poids qui peut nuire, nous allons

chercher l'écart angulaire maximum obtenu avec 4 fois le volant de résonance dans des conditions normales d'opération.

» J'estime qu'il faut au moins 5 secondes entre deux états successifs identiques des lampes de synchronisation pour faire une opération de mise en parallèle et que, d'autre part, il est difficile d'obtenir que cet intervalle dépasse 10 secondes, à en juger par ce que j'ai vu bien des fois. Admettons 10 secondes : cela veut dire que l'une des machines fait 501 périodes quand l'autre en fait 500. Supposons que l'autre soit un réseau infini. La machine à coupler possède donc une force vive plus grande, de $\frac{2}{500}$, que celle qu'elle devrait avoir. Les choses se passent donc, au moment du couplage, comme si les machines étaient couplées depuis longtemps et si l'on introduisait une énergie extérieure :

$$W_c = \frac{2}{500} W.$$

» Avec $W = 4 W_r$, cela conduit à :

$$\theta_m = \frac{2}{500},$$

c'est-à-dire 0,23 degré dans l'espace.

» Cette fois, la difficulté croît avec le nombre de pôles; pour 80 pôles, $p = 40$, $p\theta_m$ devient 9 à 10 degrés dans la période, ce qui est encore admissible. Mais si l'on tient compte de ce que l'on ne ferme pas toujours exactement les interrupteurs au bon moment, on voit que l'opération serait déjà difficile, et risquerait d'échouer peut-être, avec des volants plus lourds et un intervalle de 5 secondes seulement entre deux états successifs identiques des lampes de synchronisation.

Balancement progressif.

» Si j'ai bien compris les explications de M. Barnes, voici ce dont il s'agit :

» On supprime les régulateurs de 2 groupes électrogènes en les bloquant pour que l'admission soit constante. On les amène à la même vitesse autant que l'on peut, on couple. Alors les machines, au lieu de se mettre en concordance de phases après quelques oscillations, oscillent au contraire de plus en plus avec la période propre T ,

et l'amplitude de ces oscillations croit assez rapidement jusqu'au décrochage. Il ne s'agit pas de résonance puisque T est 2 ou 3 fois plus grand que la période de rotation. Il ne s'agit pas d'influence des régulateurs puisqu'ils sont bloqués.

» Les théories établies jusqu'ici — la mienne comme les autres — sont impuissantes à expliquer ce phénomène. Voici pourquoi : dans toutes ces théories, on suppose un décalage *constant* entre les deux alternateurs, on évalue les puissances, puis les couples et l'on ne trouve dans ces couples que les couples synchronisants, parce que, en opérant ainsi, on ne tient pas compte des variations de la force électromotrice intérieure des alternateurs avec la vitesse et surtout du *retard* de cette variation sur celle de la vitesse.

» D'une façon générale, lorsque deux alternateurs oscillent l'un par rapport à l'autre, leurs vitesses peuvent se mettre sous la forme

Pour le premier..... $\Omega_m(1 + \varepsilon \sin \alpha t)$

Pour le deuxième..... $\Omega_m(1 - \varepsilon \sin \alpha t)$

ε étant de l'ordre du millième ou du centième, et α étant la pulsation naturelle, soit $\frac{2\pi}{T}$.

» Si les machines étaient excitées d'une façon rigoureusement constante, l'amplitude des forces électromotrices intérieures serait de la même forme. Mais avec des excitatrices individuelles commandées par courroies ou placées en bout d'arbre, la variation des amplitudes des forces électromotrices intérieures est différente.

» Le calcul de ces amplitudes est trop long pour que je le reproduise ici, il fera l'objet d'une publication spéciale. Je me contenterai de dire que ces amplitudes sont de la forme :

Pour le premier..... $E[1 + \varepsilon_1 \sin(\alpha t - \varphi_1)]$

Pour le deuxième..... $E[1 - \varepsilon_1 \sin(\alpha t - \varphi_1)]$

» ε_1 et φ_1 sont très variables suivant les circonstances, ils dépendent de α , des caractéristiques de l'alternateur et de l'excitatrice, de la nature des pôles et culasses, de leur sectionnement, de leur richesse en cuivre, etc. Contentons-nous de remarquer que ε_1 peut être, dans certains cas, 5 et même 10 fois plus grand que ε , et qu'il arrive très

facilement que φ_1 , dont les limites extrêmes sont 0 et $\frac{\pi}{2}$, soit voisin de $\frac{\pi}{4}$.

» Les écarts angulaires des deux machines sont, à chaque instant :

$$\text{Pour le premier} \dots \dots \dots - \frac{\Omega_m \varepsilon}{\alpha} \cos \alpha t$$

$$\text{Pour le deuxième} \dots \dots \dots + \frac{\Omega_m \varepsilon}{\alpha} \cos \alpha t$$

» Il en résulte que les forces électromotrices intérieures sont :

$$\text{Pour le premier} \dots \dots E [1 + \varepsilon_1 \sin(\alpha t - \varphi_1)] \sin \omega \left(t - \frac{\varepsilon}{\alpha} \cos \alpha t \right)$$

$$\text{Pour le deuxième} \dots \dots E [1 - \varepsilon_1 \sin(\alpha t + \varphi_1)] \sin \omega \left(t + \frac{\varepsilon}{\alpha} \cos \alpha t \right)$$

Nous laisserons les alternateurs à vide.

» En remarquant que $(\omega \pm \alpha)$ diffère très peu de ω , on peut écrire, sans grande erreur pour le courant de circulation entre les deux machines :

$$\frac{E}{\omega l} \left[\frac{\omega \varepsilon}{\alpha} \cos \alpha t \sin \omega t - \left(1 - \frac{\omega^2 \varepsilon^2}{4 \alpha^2} - \frac{\omega^2 \varepsilon^2}{4 \alpha^2} \cos 2 \alpha t \right) \varepsilon_1 \sin(\alpha t - \varphi_1) \cos \omega t \right].$$

» L'expression complète des puissances est très compliquée, mais, eu égard à la démonstration que j'ai faite au début du Chapitre des *Vérifications indirectes de T*, on voit tout de suite qu'on peut laisser de côté tous les termes en $2 \omega t$, c'est-à-dire qu'il n'y a à conserver que les termes en $\sin^2 \omega t$ et $\cos^2 \omega t$, et, de ceux-ci, seulement la partie constante $\frac{1}{2}$.

» On trouve ainsi, pour les puissances :

$$\left. \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \end{matrix} \right\} = \pm \frac{E^2}{2 \omega l} \left[\frac{\omega \varepsilon}{\alpha} \cos \alpha t \left(1 - \frac{\omega^2 \varepsilon^2}{4 \alpha^2} - \frac{\omega^2 \varepsilon^2}{4 \alpha^2} \cos 2 \alpha t \right) [1 - \varepsilon_1^2 \sin^2(\alpha t - \varphi_1)] \right].$$

» Cette expression est encore trop compliquée pour être discutée. Remarquons alors que, puisque α est la pulsation naturelle, les termes en 2α , 3α , ..., ne peuvent avoir qu'une influence négligeable sur le mouvement, puisque, pour eux, l'inertie n'est pas

compensée par l'élasticité. Il vient alors :

$$\begin{aligned} \frac{P_1}{P_2} \Big\} = \pm \frac{E^2 \varepsilon}{2 \alpha t} \Big\{ & \left[\left(1 - \frac{\varepsilon_1^2}{2} \right) \left(1 - \frac{3}{8} \frac{\omega^2 \varepsilon^2}{\alpha^2} \right) + \left(1 - \frac{\omega^2 \varepsilon^2}{2 \alpha^2} \right) \frac{\varepsilon_1^2}{4} \cos 2 \varphi_1 \right] \cos \alpha t \\ & + \left(1 - \frac{\omega^2 \varepsilon^2}{2 \alpha^2} \right) \frac{\varepsilon_1^2}{4} \sin 2 \varphi_1 \sin \alpha t \Big\}. \end{aligned}$$

» Admettons provisoirement que $\frac{\omega \varepsilon}{\alpha}$ soit inférieur à $\frac{1}{4}$, ce qui suppose $\varepsilon T < \frac{1}{200}$. Nous aurons ainsi la formule *approchée*

$$\frac{P_1}{P_2} \Big\} = \pm E_{eff} I_{cc} \frac{\omega \varepsilon}{\alpha} \left(\cos \alpha t + \frac{\varepsilon_1^2}{4} \sin 2 \varphi_1 \sin \alpha t \right),$$

que nous allons examiner.

» En divisant par Ω_m , nous aurons, sans grande erreur, les couples

$$\pm \frac{E_{eff} I_{cc} \omega \varepsilon}{\Omega_m \alpha} \left(\cos \alpha t + \frac{\varepsilon_1^2}{4} \sin 2 \varphi_1 \sin \alpha t \right).$$

» Or, l'écart angulaire étant

$$\mp \frac{\Omega_m \varepsilon}{\alpha} \cos \alpha t,$$

et la vitesse

$$\Omega_m (1 \pm \varepsilon \sin \alpha t),$$

le couple synchronisant admis ordinairement est

$$\pm \frac{C_s \Omega_m \varepsilon}{\alpha} \cos \alpha t = \frac{E_{eff} I_{cc} \omega \varepsilon}{\Omega_m \alpha} \cos \alpha t,$$

et le couple d'amortissement

$$\mp C_a \varepsilon \sin \alpha t;$$

la première partie de notre formule du couple est donc le couple synchronisant ordinaire, et la seconde partie, un couple perturbateur de signe contraire à l'amortissement.

» Remarquons en passant que ce couple perturbateur existe aussi pour les oscillations forcées ; nous n'avons fait d'hypothèse particulière sur α ($\alpha = \frac{2\pi}{T}$) que pour pouvoir négliger les termes en 2α , 3α , ..., existant dans la puissance ; nous pourrions donc continuer à les négliger tant qu'ils ne seront, aucun, en résonance ; c'est ce qui

se passe en réalité : si nous refaisons notre calcul en substituant Ω_m à α (oscillations forcées), nous aurions des termes en $2\Omega_m$, $3\Omega_m$, ..., que nous aurions le droit, de même, de négliger, puisque nous évitons la résonance, même pour les termes en Ω_m .

» Si nous remarquons encore que ce couple est proportionnel à $\varepsilon\varepsilon_1^2$, c'est-à-dire, finalement, à ε^3 , nous pourrions dire en vérité :

» Lors de la marche en parallèle de deux alternateurs ayant chacun son excitatrice, il y a dans chaque alternateur, du fait même des oscillations, de quelque nature qu'elles soient, un couple amplificateur, de signe contraire à l'amortissement et dont l'importance croît très vite avec l'amplitude des oscillations.

» Le balancement progressif se produit donc dès que l'on a

$$E_{eff} I_{cc} \omega \varepsilon_1^2 \sin 2\varphi_1 > 4 \alpha C_a \Omega_m.$$

» Il se produit donc d'autant plus aisément que le courant de court-circuit est plus grand, que la fréquence est plus grande, que la pulsation naturelle est plus petite, c'est-à-dire que le volant est plus lourd, que la vitesse est plus faible et que l'amortissement est plus petit.

» On voit aussi, d'après ces formules, que c'est grâce au décalage φ_1 qu'il peut se produire; comme φ_1 est facilement voisin de $\frac{\pi}{4}$, $\sin 2\varphi_1$ est facilement voisin de 1.

» Toute théorie ne tenant pas compte de ce retard φ_1 ne peut aboutir qu'à l'ignorance du couple perturbateur inverse de l'amortissement.

» En même temps se trouve expliqué ce fait signalé par M. Barnes que le balancement cesse dès qu'on réunit en parallèle les excitatrices; en effet, dès ce moment φ_1 devient nul et le couple perturbateur également.

» Bien que je n'aie pas assez de renseignements pour appliquer les formules au cas signalé par M. Barnes, on peut voir que les conditions en sont favorables à la production du phénomène. En effet, I_{cc} est grand (3,5 fois le courant normal), ω est grand (60 périodes), α est petit (6 fois le volant de résonance) et C_a est petit (pôles feuilletés sans aucun amortissement artificiel). En faisant

quelques hypothèses sur C_a et $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon}$, je trouve que dès l'accrochage l'inégalité est satisfaite.

» J'ai dit tout à l'heure que l'importance du couple perturbateur croît très vite avec l'amplitude des oscillations; j'avais préalablement fait cette réserve que $\frac{\omega \varepsilon}{\alpha}$ doit rester petit, inférieur à $\frac{1}{4}$ par exemple, de manière que $\frac{\omega^2 \varepsilon^2}{2 \alpha^2}$ reste inférieur à $\frac{1}{32}$. Mais, lorsque l'amplitude des oscillations augmente, ε augmente aussi, de sorte que le facteur $\left(1 - \frac{\omega^2 \varepsilon^2}{2 \alpha^2}\right)$ que nous avons jusqu'ici confondu avec 1 peut se trouver réduit considérablement, par l'augmentation de ε . D'autant plus que, lorsque ε augmente, α diminue, puisque le couple synchronisant est en réalité affecté aussi par les oscillations et comprend le facteur

$$\left(1 - \frac{\varepsilon_1^2}{2}\right) \left(1 - \frac{3}{8} \frac{\omega^2 \varepsilon^2}{\alpha^2}\right) + \left(1 - \frac{\omega^2 \varepsilon^2}{2 \alpha^2}\right) \frac{\varepsilon_1^2}{4} \cos 2 \varphi_1$$

qui diminue quand ε et ε_1 augmentent.

» Les oscillations, après avoir augmenté rapidement, doivent donc avoir une tendance à rester stationnaires. Si l'amplitude de décrochage est atteinte avant, on ne peut évidemment pas s'en rendre compte.

» De même, le couple perturbateur inverse de l'amortissement peut se trouver annulé, pour une certaine valeur de ε , par une diminution artificielle de α (abaissement de la tension, réduction du nombre de phases en parallèle) telle que $1 - \frac{\omega^2 \varepsilon^2}{2 \alpha^2} = 0$.

» Il est encore possible que, dans le balancement progressif, il y ait une autre influence que celle que je viens de mettre en évidence, dans le moteur à vapeur même (1).

» Mais je crois que celle-ci n'est pas douteuse, surtout à cause de ce fait que le balancement cesse quand on réunit les excitations en parallèle.

» Enfin, il est hors de doute que dans les groupes ordinaires

(1) M. David me signale justement qu'une machine sans régulateur peut prendre, seule, un régime oscillatoire dans certains cas.

munis de régulateurs, le couple perturbateur de signe contraire à l'amortissement doit agir conjointement avec le régulateur pour donner les oscillations qui sont si nuisibles parfois. J'espère pouvoir revenir sur cette question dans une étude ultérieure.

Notations adoptées; unités à employer.

- a.* Rapport du volant W au volant de résonance W_r , nombre.
- α .* Pulsation naturelle d'un alternateur couplé $\alpha = \frac{2\pi}{T}$.
- C_n .* Couple moyen en charge d'un alternateur, mètres-kilogrammes.
- C_o .* Demi-amplitude de la partie variable du couple-moteur supposée sinusoïdale.
- C_s .* Couple synchronisant d'un alternateur pour un écart angulaire de un radiant, mètres-kilogrammes.
- C_a .* Couple amortisseur d'un alternateur, en mètres-kilogrammes pour une augmentation de vitesse angulaire Ω_m .
- D .* Grandeur définie par une formule, mhos.
- E .* Force électromotrice maxima intérieure d'un alternateur, volts.
- E_{eff} .* — efficace —
- e .* Différence de potentiel maxima aux bornes, volts.
- e_{eff} .* — efficace —
- ε .* Variation relative maxima de la vitesse angulaire, nombre.
- ε_i .* — — force électromotrice intérieure, nombre.
- f .* Fréquence, en périodes par seconde.
- φ_i .* Décalage en radians, de la force électromotrice intérieure sur la vitesse d'un alternateur.
- g .* Glissement pouvant servir à définir l'amortissement $g = \frac{C_n}{C_a}$.
- I_{cc} .* Courant de court-circuit, efficace, en ampères.
- J .* Moment d'inertie (volant et alternateur). $J = \frac{P}{9,81} R_g^2$.
- k .* Rapport du courant de court-circuit au courant normal.
- l .* Coefficient de self-induction d'un alternateur, henrys.
- L .* — — du réseau, henrys.
- ω .* Pulsation du courant alternatif.
- Ω .* Vitesse angulaire instantanée d'un alternateur, radians par seconde.
- Ω_m .* — — moyenne — —
- Ω_{max} .* — — maxima — —
- p .* Nombre de paires de pôles d'un alternateur.
- P .* Poids de la partie tournante d'un alternateur, en kilogrammes.
- P_n .* Puissance normale d'un alternateur en kilogrammètres par seconde.

Notations adoptées; unités à employer (suite).

- P_1 . Puissance instantanée d'un alternateur.
 P_2 . — de l'autre.
 r . Résistance intérieure d'un alternateur, ohms.
 R . — du réseau, en ohms.
 R_g . Rayon de giration d'un alternateur, mètres.
 σ . Rapport des écarts angulaires θ_c et θ .
 t . Temps, en secondes.
 T . Temps périodique d'oscillation naturelle d'un alternateur couplé, secondes.
 τ . Temps de rotation d'un alternateur, secondes.
 θ . Écart angulaire maximum, en radians, d'un alternateur isolé.
 θ_c . — — — — — couplé.
 θ_m . — — — — — pendant une élongation.
 W . Force vive ($\frac{1}{2} m V^2$) emmagasinée dans un alternateur, kilogrammètres.
 W_r . Force vive ($\frac{1}{2} m V^2$) emmagasinée dans un alternateur lorsqu'il y a résonance.
 W_c . Énergie introduite par une perturbation passagère, kilogrammètres.

M. le PRÉSIDENT remercie vivement M. Boucherot de l'importante contribution qu'il a bien voulu apporter au couplage des alternateurs en parallèle.

FLUXMÈTRE ET HYSTÉRÉSIGRAPHE.

M. GRASSOT. — « Messieurs, le fluxmètre que j'ai l'honneur de vous présenter est destiné, comme son nom l'indique, à mesurer les flux magnétiques. Les indications qu'il donne sont proportionnelles aux variations de flux embrassé par une bobine exploratrice reliée à ses bornes. Cet appareil, en principe, est un galvanomètre Deprez-D'Arsonval dont le couple de torsion est le plus petit possible et la masse de la bobine la plus grande possible; dans ces conditions, l'appareil étant en court-circuit ou branché à une faible résistance sera excessivement amorti et mettra un temps très long pour revenir à sa position d'équilibre.

» Examinons maintenant le fonctionnement de l'appareil : Si nous relions ses bornes à une force électromotrice très faible, par exemple, de l'ordre du dix-millième de volt, un courant tendra à traverser le cadre, qui déviara en produisant une force électromotrice égale et opposée. La même action se passe lorsqu'on relie un moteur magnéto dont le couple résistant est très faible à une force électromotrice; l'induit prend une vitesse proportionnelle aux volts appliqués à ses bornes. C'est le principe du compteur *O'K*.

» On a donc, en appelant α le déplacement angulaire,

$$\frac{d\alpha}{dt} = E,$$

et le déplacement total α sera égal à $\int E dt$.

» Au lieu de relier les bornes à une force électromotrice déterminée, branchons-les à une bobine de faible résistance d'un nombre de tours et de surface connus, et introduisons cette bobine dans un champ magnétique. Au moment de l'introduction nous produisons une force électromotrice proportionnelle à la vitesse de variation du flux

$$E = \frac{d\Phi}{dt};$$

cette force électromotrice fera dévier l'aiguille avec une vitesse qui lui est proportionnelle et le déplacement total étant proportionnel

à $\int E dt$ sera proportionnel, par conséquent, à la variation totale de flux.

» Nous voyons donc que l'aiguille indique à chaque instant le flux qui traverse la bobine, et, pour cela, le cadre de l'appareil se déplace dans un sens et d'une quantité telle que la variation totale de flux soit nulle et, par conséquent, le courant qui traverse l'appareil soit aussi sensiblement nul.

» Cette propriété de fournir des indications continues permet d'étudier d'une manière commode les flux et les champs magnétiques. Soit, par exemple, un aimant à étudier : introduisons cet aimant dans la bobine exploratrice, l'aiguille du fluxmètre dévie aussitôt et indique à chaque instant le flux qui traverse la bobine. Il est donc facile de se rendre compte de la répartition du flux le long de l'aimant et des anomalies que peut présenter son aimantation. De même, si nous introduisons cette bobine dans un champ uniforme, un entrefer de dynamo par exemple, la déviation de l'aiguille à chaque instant est proportionnelle à ce champ.

» S'il s'agit de mesurer des quantités d'électricité, il suffira de la faire passer dans une résistance sans self de quelques ohms en dérivation sur le fluxmètre. La déviation obtenue sera proportionnelle au nombre de microvolts-seconde aux bornes de la résistance ; en divisant par cette résistance on aura le nombre de microampères-seconde cherché.

» L'appareil est construit par la Compagnie pour la fabrication des compteurs, il a été disposé pour entrer dans la forme générale de ses appareils de mesure. Le cadre mobile est suspendu à un fil de cocon, qui est lui-même suspendu à un ressort ; le but de ce ressort est d'amortir les chocs et, par conséquent, d'éviter les ruptures du fil de cocon. Enfin, le courant est amené au cadre au moyen de deux spiraux en lame d'argent excessivement mince. L'aiguille se meut sur un cadran divisé en 100 parties de part et d'autre du milieu ; la valeur d'une division est déterminée une fois pour toutes et vaut environ 12000 maxwells ou 120 microvolts-seconde. Une bobine exploratrice jointe à l'appareil est formée d'un nombre de tours égal au nombre de microvolts-seconde correspondant à une division ; cette bobine a une surface moyenne de 5 cm²

ou 10 cm^2 . Cette bobine, placée dans un champ magnétique uniforme, fera dévier l'aiguille de 1 division pour 20 ou pour 10 Gauss, c'est-à-dire que 1 division correspondra à 100 unités de flux ou maxwells.

» Le fluxmètre peut être aussi employé comme galvanomètre sur une résistance supérieure à 1000 ohms. Dans ces conditions, la déviation de l'aiguille est d'environ 1 division pour 0,01 micro-ampère. Enfin, pour les laboratoires, le cadre mobile peut porter un miroir et, par réflexion, sur une échelle à 1 m on a 1 mm pour 0,000000005 ampère.

» *Hystérésigraphe*. — La propriété du fluxmètre d'indiquer à chaque instant l'état du flux dans une bobine m'a permis, en le combinant à un ampèremètre, de tracer directement les courbes d'hystérésis. Pour cela, un miroir M (*fig. 1*) porté par le fluxmètre et

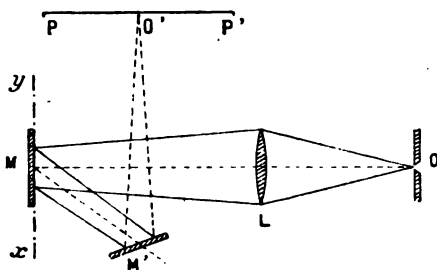


Fig. 1.

mobile autour de l'axe vertical XY réfléchit un faisceau lumineux provenant d'un trou O et rendu convergent par une lentille L sur un deuxième miroir M' porté par un ampèremètre et mobile autour d'un axe perpendiculaire à la figure. Ce deuxième miroir vient faire l'image conjuguée du point O en O'; ce point O' se déplacera dans le plan PP' suivant deux directions perpendiculaires commandées par les miroirs M et M'.

» Le métal à étudier est sous forme de tore d'un diamètre moyen et d'une section connus. Quelques tours de fil fin enroulés sur le métal et reliés au fluxmètre donnent un déplacement du point O' perpendiculairement à la figure et proportionnel à chaque instant au flux qui traverse l'anneau. Un deuxième enroulement plus important traversé par le courant magnétisant est en tension avec l'am-

pèremètre qui déplace le point O' parallèlement à la figure. Le montage ci-joint (fig. 2) permet de faire varier progressivement le

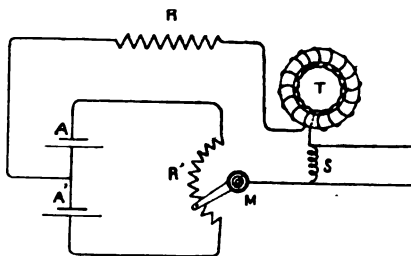


Fig. 2.

courant magnétisant de $+I$ à $-I$: en A et A' sont deux accumulateurs, R est une résistance qui détermine le courant maximum I , S est un shunt qui est relié à l'ampèremètre de l'hystérésigraphe, enfin le rhéostat R' permet, par le déplacement de sa manette M , de faire varier progressivement l'intensité de $+I$ à $-I$ en passant par O et inversement.

» Il suffit donc d'appliquer sur le plan PP' une feuille de papier à calquer; avec la main gauche on fait varier doucement l'intensité pendant que la main droite, armée d'un crayon, suit la trace du point lumineux; un premier cycle permet de tracer grossièrement la courbe; en répétant plusieurs fois l'expérience on arrive à obtenir très facilement une courbe très régulière.

« Je terminerai en vous remerciant de la bienveillante attention que vous avez bien voulu me témoigner pendant cette Communication. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Grassot et lève la séance à 10^h 50^m du soir.

BIBLIOGRAPHIE.

Les applications des aciers au nickel avec un Appendice sur la Théorie des aciers au nickel, par Ch.-Ed. GUILLAUME, Directeur adjoint du Bureau international des Poids et Mesures. Paris, Gauthier-Villars.

Le Volume si intéressant de M. Ch.-Ed. Guillaume est consacré à l'étude des simplifications des mécanismes ou des méthodes auxquelles conduit l'emploi des aciers au nickel. Au préalable, l'auteur expose les faits découverts les plus récemment à propos des propriétés curieuses, anomalies de dilatation et d'élasticité, de ces aciers, propriétés qui ouvrent un champ vaste à de nombreuses applications dans la Métrologie, la Géodésie et la mesure du temps.

Grâce aux recherches sur le nickel et ses alliages, auxquelles M. Ch.-Ed. Guillaume a apporté une contribution capitale, la chronométrie et l'horlogerie courante sont en voie de progrès surprenants et, chose remarquable, par une simplification brillante des mécanismes de compensation.

Nous signalerons particulièrement la quatrième Partie qui traite des applications des alliages à faible dilatation, à dilatation déterminée et à module d'élasticité invariable.

Enfin, les principes d'une théorie permettant de relier les faits reconnus des anomalies à une série de causes générales sont exposés dans un Appendice d'un haut intérêt

L'emploi de certains alliages de nickel ayant la même dilatation que le verre, l'application d'alliages déterminés à la constitution des spiraux et bien d'autres problèmes encore indiquent l'attrait que trouveront les électriciens à étudier la publication que nous présentons ici; la curiosité des faits et la clarté de l'exposé suffiraient, à eux seuls, déjà, à faire apprécier comme il convient l'Ouvrage dû à la compétence si hautement reconnue de M. Ch.-Ed. Guillaume.

Der Elektonaether (l'éther-électron), Contribution à une nouvelle théorie de l'Électricité et de la Chimie, par R. T. BURG. Berlin, W. Junk, 1904; plaquette de 47 pages.

Cette plaquette est consacrée à l'exposé d'une nouvelle théorie démontrant l'identité de l'éther et du fluide électrique.

La présentation de cette Thèse n'est pas dépourvue d'intérêt malgré la concision des développements, l'auteur ayant voulu en même temps montrer comment son système se concilie avec les faits actuellement connus où se révèle la production de l'électricité.

Les entreprises de distribution d'énergie électrique : Législation et jurisprudence, par Raymond SÉE, Docteur en droit, Ingénieur, ancien Élève de l'École Polytechnique,

Sous-Directeur de la Compagnie d'électricité de l'Ouest parisien (Ouest-Lumière).
Paris, Arthur Rousseau; 203 pages.

Les titres nombreux de l'auteur le qualifiaient naturellement pour établir avec compétence un *Traité de législation et de jurisprudence concernant les entreprises de distribution d'énergie*.

L'Ouvrage expose les principes généraux de très fréquente application et examine successivement la constitution de l'entreprise, la passation des contrats avec les pouvoirs publics, l'établissement des installations nécessaires au fonctionnement ainsi que l'exploitation proprement dite, le tout considéré uniquement au point de vue du droit.

En cette matière si complexe, si controversée aujourd'hui, la législation en étant encore mal dégagée ou nullement établie, les intéressés trouveront dans l'Ouvrage de M. Raymond Sée un guide clair et un appui précieux.

Utilisation des chutes d'eau pour la production de l'énergie électrique : *Application aux usages agricoles*, par Paul LÉVY SALVADOR, Ingénieur des Constructions civiles. Paris, Ch. Béranger; 122 pages.

L'auteur se borne ici à l'utilisation des chutes moyennes susceptibles d'être utilisées dans des régions peu accidentées. La première Partie traite des prises d'eau, de leur établissement et des formalités qu'entraîne celui-ci; la seconde Partie est consacrée à la description des principaux types de moteurs hydrauliques.

Les principes de la production du courant électrique, les dynamos et les accessoires d'installation sont passés en revue rapidement dans la troisième Partie.

En quelques pages, dans la quatrième et dernière Partie, l'Auteur fait entrevoir la possibilité et les avantages d'une application de l'électricité aux travaux agricoles.

A travers l'électricité (3^e édition), par M. Georges DARY, 1 vol.
Paris, Nony et C^{ie}.

La troisième édition de *A travers l'électricité* est un des plus beaux livres de la Collection scientifique dont la librairie Nony et C^{ie} publie chaque année un riche spécimen.

Du reste, l'auteur n'a pas entendu écrire pour des spécialistes, mais bien plutôt faire, en style élégant et facile, œuvre de propagande et de vulgarisation pour les milieux où l'on admire les choses de l'électricité avec le désir d'en connaître les procédés multiples et si variés. Ce n'est donc pas un livre d'études techniques, mais des leçons de choses ayant trait au même sujet :

« Espérons, dit M. Dary, qu'elles feront naître chez beaucoup de jeunes gens une curiosité plus vive et le désir de s'initier plus complètement à la science électrique; les moyens ne leur manqueront pas maintenant : la France possède, en effet, une École supérieure d'Électricité qui ne cède à aucune autre pour l'importance et le niveau de son enseignement; elle forme ces ingénieurs électriciens dont nous pouvons apprécier tous les jours les savantes et solides qualités. »

Et l'Ouvrage, parsemé d'anecdotes curieuses et originales, discourt en 20 chapitres sur les diverses catégories d'applications électriques après quelques données élémentaires : Électricité atmosphérique, télégraphe et téléphone, éclairage et traction électrique, galvanoplastie, navigation électrique, horlogerie, phonographe, médecine et chirurgie, l'électricité sur la côte, applications à la marine de guerre, à la guerre et à l'agriculture, applications industrielles, domestiques et diverses.

Le dernier Chapitre signale les dangers de l'électricité et, avec les précautions à prendre, indique les soins à donner à ses victimes.

De nombreuses et belles gravures ou photogravures illustrent cette superbe édition.

La Télégraphie sans fil (2^e édition), par André BROCA, 1 vol.
Paris, Gauthier-Villars; 1904.

L'auteur nous avertit, dans la préface de cette seconde édition, qu'il a conservé à son Ouvrage le caractère de vulgarisation que présentait la première.

On y trouve un très clair exposé, fait en langage précis, des courants de haute fréquence, du fonctionnement de la Télégraphie sans fil et de la Théorie électromagnétique de la lumière.

Pour parvenir à donner ainsi, sans aucun développement mathématique, une idée nette de ces phénomènes si complexes, l'auteur a recours à un modèle mécanique; si comparaison n'est pas raison, un lecteur peu préparé y trouve du moins un fil conducteur lui permettant de se ressaisir lorsqu'il est sur le point de perdre pied.

Cette seconde édition est d'ailleurs mise au courant des derniers travaux sur la matière. On y rencontre notamment la description du détecteur magnétique Rutterford-Marconi et du poste du Poldhu; l'auteur a ajouté encore à sa première édition un paragraphe sur la polarisation et les réseaux, un Chapitre entier sur la syntonie et les courants de haute fréquence et a développé la discussion du rôle de l'antenne.

Ses conclusions sur les applications possibles de la Télégraphie sans fil restent plutôt pessimistes. La syntonisation idéale est un mythe, et si l'on peut espérer, par la mise en œuvre du système Blondel, distinguer les unes des autres les communications simultanées, il est impossible d'en empêcher l'interception volontaire, ou non. L'auteur regrette donc que l'on tolère librement des expériences comme celles de Poldhu; elles mettent en œuvre des quantités énormes d'énergie; sans autre résultat appréciable que de troubler les communications côtières; or celles-ci constituent jusqu'ici l'application la plus pratique de la Télégraphie sans fil.

Éclairage : *Huiles, alcool, gaz, électricité, photométrie*; par L. GALINE, Ingénieur des Arts et Manufactures, et B. SAINT-PAUL, Conducteur du Service municipal de Paris.
2^e édition, 1 vol. format 14 × 23 de 700 pages, avec 308 figures. Paris, V^e Ch. Dunod, 1904.

Depuis l'apparition de la première édition de l'Ouvrage de MM. Galine et Saint-Paul (il avait alors pour titre *Traité d'Éclairage*), de très nombreux progrès ont été réalisés. Ces dernières années surtout, le cadre des applications industrielles de l'éclairage s'est considérablement élargi et de nouveaux procédés ont rapidement conquis

une place importante à côté de leurs aînés. Pour ne citer que les principaux, mentionnons seulement l'emploi de l'alcool dénaturé, la création des lampes à arc en vase clos, des charbons dits à *flamme*, l'utilisation des oxydes terreux rares pour constituer le filament de lampes électriques à incandescence, etc.

Dans la seconde édition de leur Ouvrage, les auteurs ont dû reprendre la question à son origine, afin de donner à chaque partie du sujet les développements nécessaires. Si le titre s'est amputé d'un mot, le texte, par contre, s'est considérablement augmenté et comprend maintenant quatorze Chapitres traitant de l'éclairage à huile végétale, de l'extraction, du raffinage et de l'emploi des huiles minérales lourdes et légères, de l'alcool et de ses applications, tant à l'état liquide qu'à l'état gazéifié. La fabrication du gaz de houille, sa distribution et son emploi font l'objet d'études détaillées dans lesquelles les perfectionnements les plus récents sont passés en revue.

Un Chapitre entier est consacré à l'examen des gaz spéciaux appliqués industriellement : acétylène, gaz riche, gaz de bois, gaz à l'eau (vapeur d'eau agissant sur du charbon chauffé au rouge), gaz à l'air (air chargé des vapeurs de carbures volatils).

Les Chapitres relatifs à l'éclairage électrique ont été très remaniés, des détails devenus sans intérêt immédiat ayant cédé la place à d'autres plus importants ou plus nouveaux. Il en est de même des Chapitres réservés à la Photométrie et aux projets d'éclairage.

Dans cette dernière partie, on trouvera tous renseignements utiles pour dresser un projet d'éclairage quelconque, par les divers procédés qu'on peut mettre en œuvre. Ces renseignements portent sur l'établissement des usines et des canalisations, sur la répartition des foyers et sur l'intensité lumineuse la plus convenable à leur demander.

Les auteurs, à titre d'application, développent deux projets détaillés, relatifs à l'éclairage d'une ville d'importance moyenne, l'un par le gaz, l'autre par l'électricité.

En résumé, Ouvrage des plus recommandable et dans lequel s'accroissent encore les qualités qui avaient assuré jadis le succès de sa première édition.

Le radium et ses propriétés, les phénomènes radioactifs, par Jean ESCARD, Ingénieur-électricien, 1 vol. 24 × 16 de 150 pages avec 30 figures. Paris, Bernard Tignol, 1904.

Ce petit Volume a pour objet de présenter les propriétés si curieuses du radium et des corps radioactifs. Il le fait d'une manière claire et scientifique, en même temps qu'éloignée de tout procédé rappelant la compilation. Ce n'était pas besogne aisée, aussi M. Max de Nansouty, dans la préface qu'il a écrite pour ce travail, loue-t-il l'auteur et avec juste raison.

Après quelques pages d'introduction, M. Escard rappelle les propriétés de quelques radiations connues depuis longtemps : radiations lumineuses, caloriques, chimiques ; la phosphorescence, la fluorescence, les radiations électriques, les rayons cathodiques et ceux de Röntgen.

Il expose ensuite les travaux de MM. Henry, Niewenglowski, Troost et les si belles recherches de M. H. Becquerel sur les radiations invisibles ainsi que sur la radioactivité de l'uranium et de ses sels.

Ces recherches ont été le point de départ des travaux retentissants de M. et M^{me} Curie, travaux ayant abouti à la découverte du radium et d'autres corps extrêmement radioactifs.

Le Chapitre IV passe en revue les divers rayons émis par le radium et montre que les radiations qui s'échappent de ce corps si étonnant transportent des charges d'électricité négative.

Après avoir examiné les propriétés physiques, physiologiques et chimiques du radium ou plutôt de ses sels, puisque le radium métallique n'a pas encore été isolé, M. Escard étudie les **surprenants** phénomènes de la radioactivité induite, de l'émanation issue du radium, émanation qu'on a pu condenser à très basse température; la production d'hélium, gaz qui, depuis longtemps, avait été découvert dans le Soleil au moyen de la spectroscopie et qui semble être un des produits de la dislocation de l'atome radium.

Dans le VIII^e et dernier Chapitre, l'auteur développe, non pas encore les théories, mais les hypothèses les plus plausibles auxquelles les phénomènes radioactifs ont donné lieu.

On peut admettre que, vraisemblablement, ces phénomènes sont des manifestations de l'énergie, celle-ci se présentant à nous sous des formes que nous ne connaissons pas encore et qui sont probablement très nombreuses.

Quoi qu'il en soit, on peut dire que les récentes découvertes, si bien exposées par M. Escard, semblent renverser *provisoirement* les idées de nos physiciens. Nul doute que ce qui nous semble actuellement si extraordinaire ne nous paraisse tout naturel plus tard. Déjà, dans la nature, la radioactivité apparaît comme un phénomène plutôt général qu'exceptionnel. Encore un peu de patience, beaucoup de travail et nous finirons par avoir la clef de ces mystères.

La théorie de Maxwell et les oscillations hertziennes. La télégraphie sans fil,
par H. POINCARÉ. Collection *Scientia*.

Cet intéressant fascicule contient résumés les éléments de la théorie de Maxwell et des oscillations hertziennes. L'auteur, après avoir rappelé les principales généralités des phénomènes électriques, expose la théorie de Maxwell, puis décrit les expériences de Hertz. Il fait connaître ensuite les détecteurs d'ondes électromagnétiques depuis le résonnateur de Hertz jusqu'aux cohéreurs les plus récents utilisés dans la télégraphie sans fil.

Après avoir traité de la propagation des vibrations électriques dans l'air, M. Poincaré donne leurs longueurs d'onde et fait des comparaisons avec les ondes lumineuses.

Il montre que si la lumière semble se propager très sensiblement en ligne droite, c'est à cause de la petitesse de ses longueurs d'onde. Sa réfraction est alors très facile à obtenir avec des appareils de petites dimensions (lentilles, prismes, etc.)

En télégraphie sans fil, à cause de la grande longueur des ondes, on ne peut opérer aussi facilement; pour concentrer les ondes et les diriger suivant une ligne, il faudrait des lentilles énormes.

C'est là l'obstacle principal à la possibilité de la télégraphie sans fil avec secret des communications. Pour le surmonter, il serait nécessaire d'employer des ondes très courtes.

Dans l'état actuel, malheureusement, les ondes courtes que l'on sait produire ne possèdent que peu d'énergie. C'est du côté des ondes courtes, en même temps que puissantes, qu'il faut entrevoir l'avenir de la télégraphie sans fil.

Méthodes modernes de paiement des salaires, par J. ISARD, Secrétaire de la rédaction du *Mois scientifique et industriel*, avec Préface de M. Yves Guyot, ancien Ministre des Travaux publics. 1 volume de 60 pages, contenant 15 illustrations et photographies. V^e Ch. Dunod, éditeur; Paris, 1904.

Dans ce petit opuscule, l'auteur a voulu démontrer à l'industriel, par une critique raisonnée des différents modes de rémunération couramment usités, lequel convient le mieux au genre d'industrie qui le concerne. Avant tout, il a cherché à donner à son étude une tournure essentiellement pratique.

M. Isard pose tout d'abord le principe essentiel du salaire, lien inévitable entre patron et ouvrier.

Le salaire doit assurer au patron le prix de revient minimum et à l'ouvrier un salaire maximum.

Bien que l'on considère souvent ces préceptes comme incompatibles, l'auteur démontre le contraire.

Il étudie pour cela les systèmes de rémunération divers : à l'heure, à la journée, aux pièces, etc., en prenant des exemples dans des industries différentes, telles que les charbonnages, les usines sidérurgiques, les forges, les exploitations agricoles, etc.

C'est ainsi que sont présentés les systèmes de paiement du Familistère de Guise, des usines Krupp, des ateliers Baldwins, des verreries ouvrières établies en France, des pêcheries de Yarmouth, etc.

Au résumé, ce travail, très intéressant, montre la question souvent irritante des salaires sous un jour encourageant; il est complété par plus de 300 références bibliographiques.

Étude sur les résonances dans les réseaux de distribution par courants alternatifs, par G. CHEVRIER, Ingénieur à la Compagnie du Secteur de la Rive gauche de Paris. Journal *l'Éclairage électrique*, éditeur; Paris, 1904.

Ce petit Volume, de 74 pages, réunit les divers articles publiés sur ce sujet par M. Chevrier dans *l'Éclairage électrique*. La question est toute d'actualité et son importance est telle qu'on l'étudie de tous côtés et qu'elle fait en ce moment même l'objet de communications très substantielles aux séances de la Société internationale des Électriciens.

En trois Chapitres, l'auteur, qui s'est trouvé lui-même en présence des difficultés d'exploitation apportées par la résonance, étudie les mouvements oscillatoires dans les hypothèses de milieux non résistants et de milieux où ces mouvements s'amortissent en transformant l'énergie potentielle initiale en chaleur.

Après avoir examiné ce qui se passe pour les divers circuits contenant de la capacité et de la self-induction, M. Chevrier établit les équations générales des phénomènes oscillatoires et les applique, dans le dernier Chapitre, aux différents cas rencontrés dans la pratique.

En terminant, signalons que le lecteur trouvera dans ce travail l'exposé des moyens préventifs destinés à protéger les réseaux contre les dégâts souvent provoqués par les phénomènes de résonance, principalement lors de l'ouverture brusque d'un circuit ou à la suite de court-circuits d'une certaine importance.

Rayons N. Recueil des Communications faites à l'Académie des Sciences par R. BLONDLOT, correspondant de l'Institut, Professeur à l'Université de Nancy. 1 volume 19 × 12 de vi-75 pages avec 3 figures, 2 planches et 1 écran phosphorescent. Gauthier-Villars, éditeur; Paris, 1904.

Cet intéressant petit Volume réunit l'ensemble des Mémoires communiqués à l'Académie des Sciences par M. Blondlot sur les rayons N.

M. Blondlot a découvert ces curieux rayons en étudiant la polarisation des rayons X : il les a appelés *rayons N*, pour rappeler la ville de Nancy.

L'ensemble des propriétés des rayons N conduit à admettre avec certitude qu'ils sont une variété de la lumière. Les rayons N traversent les métaux, le bois et autres corps opaques. On constate leur présence dans les radiations émises par le bec Auer, le Soleil, etc. Les rayons N sont également émis spontanément et indéfiniment par certains corps en état moléculaire contraint, tels que l'acier et le verre trempés. Le moyen de constater la présence des rayons N est basé sur ce fait que, lorsque les rayons N accompagnent des rayons lumineux, l'action de ceux-ci sur l'œil se trouve renforcée. L'un des meilleurs tests est un écran phosphorescent à base de sulfure de calcium. On l'observe dans l'obscurité après l'avoir légèrement insolé; les taches de sulfure sont alors visibles: elles se renforcent sous l'influence des rayons N émis, soit en serrant le poing, soit en sifflant ou en parlant à haute voix. L'auteur a eu la bonne idée de faire encarter un écran à sulfure à la fin du Volume.

Le lecteur peut ainsi, en suivant les instructions précises données par M. Blondlot, observer lui-même les curieux phénomènes indiqués dans le cours de ce recueil et répéter les expériences signalées.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

France.

- Accumulateur (L') électrique et ses applications industrielles. Traité pratique à l'usage de l'ingénieur*, par LAMAR-LYNDON. Traduit de l'anglais par Ch. de VAUBLANC. Paris, Ch. Béranger, 1904; 1 vol. grand in-8°, relié toile. (Don de l'Éditeur.)
- Électricité expérimentale et pratique. Cours professé à l'École des officiers torpilleurs*. Tome IV, 3^e édition, par H. LEBLOND. Paris-Nancy, Berger-Levrault et C^{ie}, 1903; 1 vol. in-8°, broché. (Don de l'Éditeur.)
- Instructions sur le montage des installations électriques jusqu'à 600 volts*. Nancy, impr. Berger-Levrault et C^{ie}, 1903; 1 brochure petit in-8°. (Don de l'Association alsacienne, Service électrique de Nancy.)
- Manuel pratique des mesures physico-chimiques*, par W. OSTWALD et P. LUTHER. Traduit de l'allemand sur la 2^e édition par Ad. JOUVE. Paris, Ch. Béranger, 1904; 1 vol. grand in-8°, relié toile. (Don de l'Éditeur.)
- Phénomènes (Les) radioactifs. Le radium et ses propriétés*, par Jean ESCARD. Préface de M. Max de NANSOUTY. Paris, B. Tignol, s. d. (1904); 1 vol. grand in-8°, broché. (Bibliothèque des Actualités industrielles, n° 105.) (Don de l'Auteur et de l'Éditeur.)
- Traité général de l'emploi de l'Électricité dans l'industrie minière*, par N. LAPOSTOLET. Paris, V^e Ch. Dunod, 1904; 1 vol. in-8°, broché. (Don de l'Éditeur.)

Étranger.

- Subject list of works on electricity, magnetism and electrotechnics in the library of the Patent Office*. London, Patent Office, 1904; 1 vol. in-32, broché. (Don du Patent Office.)
- The national physical Laboratory. Report for the year 1903*. London, Harrison and sons, 1904; 1 fascicule in-8°, broché. (Don du Physical Laboratory.)

Liste des Ouvrages offerts par M. E. Sartiaux.

- Analyse électrochimique*, par MM. E.-F. SMITH et Joseph ROSSET, Paris, Gauthier-Villars, 1900; 1 vol. in-16, broché.

- Complément du Cours d'Electricité*, par M. H. LEBLOND. Paris, Impr. nationale, 1902; 1 vol. in-8°.
- De la transmission de la force par l'électricité*, par M. A. ACHARD, 1879; 1 brochure in-8°, cartonnée.
- Des moyens pratiques de constater la mort par l'électricité à l'aide de la faradisation*, par M. le D^r BONNEFOY. Paris, Baillière, 1866; 1 vol. in-8°, cartonné.
- Éclairage électrique domestique*, par M. GEIGER. Paris, Desforges, 1900; 1 brochure in-16.
- Éléments de Physique expérimentale et de Météorologie*, par M. POUILLET. 4^e édition (2 vol.), 5^e édition (2 vol.), 6^e édition (2 vol. et 1 vol. de planches).
- Étude économique d'un transport d'énergie à grande distance*, par MM. DUSANGEY et J. PIONCHON. Grenoble, 1901; 1 brochure in-8°, cartonnée.
- Essai de Physique*, par M. Pierre VAN MUSSCHENBROEK. Traduit du hollandais par M. Pierre MASSUET. Leyde, 1751; 2 vol. in-4°, reliés.
- Expériences de la transmission de la force par l'électricité*, par M. Maurice LEVY. 1886; 1 vol. grand in-4° autographié.
- Générateurs d'électricité*, par MM. GEIGER et NAUDET. Paris, Desforges, 1900; 1 brochure in-16.
- Installations électriques du croiseur « D'Entrecasteaux »*, par M. Victor COLIN. Paris, Berger-Levrault, 1899; 1 vol. in-8°, broché.
- L'art de la guerre*, par M. Victor FLAMACHE. Bruxelles, 1883; 1 brochure grand in-8°.
- Leçons d'Électricité et de Magnétisme*, par M. Silvanus-P. THOMPSON (traduction de M. E. BINET). Paris, Fritsch, 1898; 1 vol. in-16 broché.
- Les applications de l'électricité aux chemins de fer*, par MM. E. SARTIAUX et L. WEISSENBROCK. Bruxelles, 1890; 1 vol. in-8°, broché.
- Le tramway électrique de Marseille*, par M. F. DENIZET. Paris, Baudry, 1893; 1 vol. in-8°, broché.
- Manuel pratique des accumulateurs électriques*, par M. CACHÉUX, Paris, 1901; 1 vol. in-16, broché.
- Notice sur l'Électrométallurgie*, par M. L. OUDRY. 1866; 1 brochure in-8°.
- Notice sur les moteurs asynchrones polyphasés, système Boucherot*, par M. E.-J. BRUNSWICK; Paris, 1898; 1 brochure grand in-8°.
- Notions d'Électricité. Électrostatique*, par M. J. BOULANGER. Paris, 1900; 1 brochure in-8°.
- Nouveau système d'appareils électriques destinés à assurer la sécurité des chemins de fer*, par M. Gustave MARQFOY. Paris, 1858; 1 vol. in-8°, relié.
- Précis d'Électrothérapie*, par M. H. BORDIER, Paris, Baillière, 1897; 1 vol. petit in-8°, cartonné.
- Premier Mémoire sur l'Électricité et le Magnétisme*, par M. COULOMB. 1785.

Sonneries, téléphones, allumoirs, par M. GEIGER. Paris, Desforges, 1901; 1 brochure in-16.

Thèses présentées à la Faculté des Sciences de Paris pour obtenir le grade de Docteur ès Sciences physiques. Recherches expérimentales d'Électricité statique, par M. ANGOT. Paris, Gauthier-Villars, 1874; 1 brochure in-4°, cartonnée.

Traité pratique d'Électricité, par M. Emmanuel GAILLARD. Paris, Fischbacher, s. d.; 1 vol. in-4°, broché.

Traité pratique de Mécanique et d'Électricité industrielle, par MM. CAYE et SAILLARD. Tome I. Paris, Berger-Levrault, 1901; 1 vol. in-8°, cartonné.

Traité de Télégraphie électrique, par M. l'abbé MOIGNO. Paris, A. Franck, 1849; 1 vol. in-8°, relié.



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

LE LABORATOIRE CENTRAL ET L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

- I. NOTICE HISTORIQUE. p. 539.
- II. LE LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ. p. 547. — *Commission administrative*, p. 548. — *Description sommaire du Laboratoire central d'Électricité*, p. 549. — 1. Salle des machines, p. 549. — 2. Salle des accumulateurs, p. 552. — 3. Distribution, p. 553. — 4. Locaux, p. 557. — *Exposé sommaire des principales méthodes de mesure employées au Laboratoire central d'Électricité*, p. 558. — 1. Mesure des résistances, p. 558. — 2. Mesure des forces électromotrices. Étalonnage des voltmètres à courant continu, p. 564. — 3. Mesure des intensités. Étalonnage des ampèremètres à courant continu, p. 567. — 4. Étalonnage des wattmètres et des compteurs à courant continu, p. 568. — 5. Étalonnage des voltmètres et des ampèremètres à courant alternatif, p. 572. — 6. Étalonnage des compteurs et wattmètres à courant alternatif, p. 574. — 7. Haute tension alternative, p. 574. — 8. Photométrie, p. 576. — 9. Essais magnétiques, p. 588. — 10. Essais des accumulateurs et des piles, p. 592. — 11. Essais de machines, p. 594. — 12. Essais divers, p. 594.
- III. L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ, p. 595. — *Conseil de perfectionnement*, p. 596. — *Personnel*, p. 597. — *Organisation de l'enseignement*, p. 599. — *Programme de l'enseignement*, p. 604. — Cours, p. 604. — Conférences, p. 604. — Travaux de Laboratoire, p. 609. — Essais de machines, p. 613. — Travaux d'atelier, p. 615. — Visites d'usines, p. 618. — Stages dans les usines, p. 619. — Excursions électrotechniques, p. 619. — *Description sommaire des installations matérielles de l'École*, p. 620. — 1. Laboratoire de mesures, p. 620. — 2. Salle des machines, p. 622. — 3. Atelier, p. 628. — Liste des élèves de l'École ayant obtenu le diplôme en 1904, p. 630. — Liste alphabétique des élèves sortis diplômés de l'École supérieure d'Électricité depuis sa fondation (1894) jusqu'au 1^{er} novembre 1904, p. 631.

LE LABORATOIRE CENTRAL

ET

L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

I. — NOTICE HISTORIQUE.

Le 1^{er} août 1881, s'ouvrait à Paris une Exposition internationale d'Électricité. On n'a pas oublié l'enthousiasme qu'excitait à cette époque tout ce qui touchait à cette belle Science, encore aux débuts de ses applications; l'Exposition, décidée en principe par un décret du 23 octobre 1880, dotée par la loi du 27 décembre 1880 d'une subvention de 200 000 fr, assurée également d'une subvention de 25 000 fr de la Ville de Paris, s'annonçait sous les auspices les plus favorables; néanmoins, pour prémunir l'État contre un déficit toujours possible, il se constitua à cette époque une association de garantie, formée des industriels qui étaient les véritables promoteurs de l'entreprise (1). Comme il était à prévoir, non seulement il fut inutile de faire appel à cette garantie libéralement consentie, mais encore la liquidation des comptes de l'Exposition se solda par un bénéfice considérable, 331 000 fr, qui, aux termes du Règlement général, devait être abandonné à l'État en faveur d'une œuvre d'intérêt public; l'association de garantie, consultée sur le meilleur

(1) ART. 3 du *Règlement général*. — Les fonds nécessaires à l'organisation et au fonctionnement de l'Exposition seront fournis au moyen des subventions que l'État pourrait accorder, et par une association de garantie dont les membres souscripteurs se sont interdit tout partage de bénéfices après remboursement de leurs versements avec intérêt de 4 pour 100.

Lors de la liquidation des comptes de l'Exposition, après défalcation des remboursements dus aux souscripteurs du capital de garantie, les bénéfices acquis seront laissés à la disposition de l'État, qui, sur les propositions de la Commission d'organisation, en fera profiter des œuvres scientifiques d'intérêt public.

emploi à faire de cette somme, proposa de l'appliquer à la création d'un Laboratoire central d'Électricité; par un rapport en date du 24 février 1882, M. Ad. Cochery, alors Ministre des Postes et Télégraphes, proposa au Président de la République la création de ce Laboratoire, création qui fut sanctionnée par un décret présidentiel daté du même jour.

Pour différentes raisons qu'il est difficile d'apprécier au bout de plus de 20 ans, il semble que plusieurs années s'écoulèrent sans qu'il fût donné suite de la part de l'État à cette idée si féconde et si intéressante; mais les hommes d'initiative qui avaient jeté ce premier jalon continuaient leur œuvre en fondant la Société Internationale des Électriciens (1883) ⁽¹⁾; c'est grâce à eux que la création du Laboratoire central échappa à l'oubli. Le 30 mai 1886, la Société nommait dans son sein une Commission présidée par M. E. Blavier, Inspecteur général des Télégraphes, ayant pour secrétaire rapporteur M. E. Sartiaux, alors chef du Service des Télégraphes aux chemins de fer du Nord ⁽²⁾, et chargée d'étudier les moyens pratiques de réalisation du nouveau Laboratoire; de très intéressants documents sur les établissements similaires des pays étrangers furent rassemblés par M. E. Sartiaux et servirent de bases à un avant-projet. Grâce à des démarches longues et compliquées auxquelles prirent une part active, de 1885 à 1888, les premiers Présidents de la Société, et, en particulier M. Maurice Lœwy, le Laboratoire prit enfin naissance, plus modeste encore peut-être qu'on ne l'avait espéré au milieu de tout l'éclat de l'Exposition d'Électricité de 1881, mais pouvant dès l'abord rendre des services réels à l'industrie.

Le Laboratoire fut inauguré le 10 février 1888 : les bases de l'accord intervenu entre la Société Internationale des Électriciens et l'État étaient les suivantes :

1° La Société affecte à l'établissement d'un Laboratoire un local sis place Saint-Charles, à Paris-Grenelle, dont elle dispose pour 4 années.

2° Sur la somme de 331405 fr versée au Trésor par le Commis-

(1) La Société a été reconnue d'utilité publique par décret du 7 décembre 1886.

(2) Les membres de cette Commission étaient : MM. Berthon, Boistel, Cabanellas, Carpentier, Clérac, Dubreuil, Héliand, Lemonnier, Lippmann, de Méritens, Monnier, de Nansouty, Picou, Tessier, Trotin, Vivarez, Williot.

sairé général de l'Exposition de 1881, l'État met à la disposition de la Société : 1° une somme de 30 000 fr destinée à la première installation; 2° une rente annuelle de 10 933 fr, montant des arrérages d'une inscription de rente de 3 pour 100 acquise avec le reliquat de 301 405 fr.

3° Un Ingénieur des Télégraphes est délégué auprès de la Société pour exercer le contrôle prévu par le décret du 24 février 1882.

Ainsi l'initiative privée, qui avait créé la ressource primitive sur laquelle reposaient toutes ces combinaisons, intervenait de nouveau pour les faire passer à l'état de réalité; l'État conservait tous ses droits, la Société Internationale des Électriciens prenait toutes les charges et toutes les responsabilités d'une œuvre nouvelle et difficile.

Le Laboratoire était ainsi fondé et commençait sous l'habile direction de M. de Nerville, Ingénieur des Télégraphes, à rendre aux industriels les services qu'on était en droit d'en attendre; ces services consistaient, et consistent aujourd'hui encore, en étalonnements d'instruments de mesures électriques, ampèremètres, voltmètres, compteurs, etc.; en mesures photométriques sur les lampes à incandescence et les lampes à arc; en études de machines, d'accumulateurs, de matières isolantes ou magnétiques, etc.

Mais l'existence même du Laboratoire était précaire : le local provisoire où il était installé n'était disponible que pour 3 ou 4 ans tout au plus; il fallait songer immédiatement aux moyens d'assurer pour l'avenir un local définitif aux nouveaux services.

Des démarches furent faites auprès de la Ville de Paris pour obtenir un terrain: après bien des négociations et des difficultés de toutes sortes, un terrain de 1500 m² environ, situé rue de Staël (15^e arrondissement), fut concédé pour 60 années à la Société Internationale des Électriciens; restait à trouver les ressources nécessaires à l'édification des nouveaux bâtiments et à l'acquisition de matériel indispensable.

Suivant une convention nouvelle passée entre la Société Internationale des Électriciens et l'État (15 mars 1892), ce dernier autorisait un prélèvement de 100 000 fr sur le capital disponible; cette somme était loin d'être suffisante; c'est alors que M. Mascart, Membre de l'Institut, qui avait joué un rôle si important lors de l'Exposition et du Congrès de 1881, qui dès 1887 avait été Président

de la Société et avait consacré tous ses efforts à la réussite des négociations engagées entre l'État et la Société, songea à faire, de nouveau, appel à l'initiative privée; sous l'impulsion de son ardeur communicative, une somme dépassant 100 000 fr fut souscrite en quelques semaines parmi les industriels membres de la Société Internationale des Électriciens; grâce à ses démarches, une autre somme de 100 000 fr, prélevée sur les fonds du legs Giffard, fut attribuée à la Société et consacrée à l'édification d'un pavillon spécial qui porte, inscrit sur son fronton, le nom de *Pavillon Giffard*, en mémoire du donateur.

Grâce à ces fonds d'origine diverse, les travaux purent être commencés et, le 14 juin 1893, les nouveaux bâtiments étaient inaugurés sous la haute présidence de M. Terrier, alors Ministre du Commerce, de l'Industrie et des Colonies; M. Raymond, Administrateur des Postes et Télégraphes, étant Président de la Société Internationale des Électriciens.

Depuis cette époque, le Laboratoire n'a fait que se développer rapidement; tout récemment encore, la Société a pu, moyennant un versement de 50 000 fr obtenir de la Ville de Paris, pour 60 années, un terrain de 900 m² environ, ce qui porte à 2400 m² la surface disponible, dans un quartier que le voisinage immédiat d'une station du Métropolitain rend particulièrement favorable. Les constructions dépassent aujourd'hui la valeur de 300 000 fr; le matériel, celle de 275 000 fr; les particuliers et l'État ont constamment recours au Laboratoire pour trancher toutes les difficultés que peuvent aplanir des mesures électriques précises et d'une impartialité incontestée; on verra, par la suite de ce travail, et les ressources dont le Laboratoire dispose, et les essais qu'il est en état d'effectuer; bornons-nous à rappeler, à titre d'exemple, l'important concours organisé en 1901-1902 par le Ministère de la Marine pour la fourniture des batteries d'accumulateurs destinées aux sous-marins. L'exécution et la surveillance de ce concours furent confiées par le Ministère de la Marine au Laboratoire Central d'Électricité. Pour donner une idée de son importance, disons que 42 éléments d'accumulateurs, d'une capacité de 2500 ampèreheures chacun, furent soumis, du mois d'octobre 1901 au mois d'avril 1902, aux essais les plus variés et aux épreuves les plus rigoureuses; que,

pendant cet important travail, il ne fut pas dépensé moins de 150 000 hectowattheures (de quoi entretenir une lampe de 16 bougies pendant 34 ans) et qu'il ne fut pas fait moins de 80 000 lectures aux appareils de mesure.

Un autre exemple intéressant, entre beaucoup d'autres, est donné par des essais de 24 heures exécutés par le Laboratoire à la station centrale des chemins de fer d'Orléans (Austerlitz, quai d'Orsay). Le régime éminemment variable de l'usine débitant sur les trains interdisait l'emploi d'appareils enregistreurs qui n'auraient présenté aucune garantie; 17 280 lectures à des wattmètres apériodiques furent faites de 5 secondes en 5 secondes par 12 observateurs se relayant tous les quarts d'heure. Le débit total de la station par 24 heures fut ainsi obtenu avec une précision remarquable; des mesures simultanées de consommation de vapeur et de charbon étaient effectuées.

Les essais faits au Laboratoire depuis sa fondation jusqu'au 30 septembre 1904 et ayant donné lieu à des certificats atteignent le nombre de 7957, se décomposant ainsi :

		<i>Report</i>	6220
Ampèremètres	979	Lampes à arc	189
Voltmètres	1000	Lampes diverses	104
Wattmètres	68	Fers et tôles	175
Compteurs	1794	Machines	285
Résistances	761	Accumulateurs	305
Isolements	381	Piles	273
Haute tension ⁽¹⁾	59	Paratonnerres	48
Lampes à incandescence ⁽²⁾ ..	1178	Divers	358
<i>A reporter</i>	6220	Total	7957

Parmi ces essais, nous signalerons comme particulièrement importants ceux que le Laboratoire est appelé à faire au dehors (vérification d'installations d'éclairage et de compteurs, essais de réception de matériel électrique, etc.). A plusieurs reprises, le personnel du Laboratoire s'est transporté en province ou à l'étranger pour ces travaux.

Les archives du Laboratoire sont ainsi remplies de résultats de toute espèce, que, d'après un règlement dont la sagesse n'échappera à personne, les intéressés seuls ont droit à recevoir en communication.

(1) Ces essais ne se font jusqu'à 60 000 volts que depuis 1902. Ils peuvent actuellement être poussés jusqu'à 120 000 volts.

(2) Chaque essai porte sur un groupe de 1 à 5 lampes.

Enfin, nous devons signaler que, en dehors de ses travaux réguliers, le Laboratoire exécute des recherches d'intérêt général dont les résultats sont publiés dans le Bulletin de la Société.

Dès l'origine du Laboratoire, quelques élèves y furent admis; ces élèves, plutôt destinés à servir d'aides aux opérateurs réguliers du Laboratoire qu'à obtenir un enseignement didactique, étaient un accessoire dans la nouvelle institution; ils devaient devenir l'origine de la seconde grande création de la Société Internationale des Électriciens, l'École supérieure d'Électricité. Dès 1885 M. Georges Berger, alors Président de la Société internationale des Électriciens, dans l'importante lettre adressée au Ministre du Commerce où il lui proposait pour la première fois le concours de la Société pour la fondation du Laboratoire Central, terminait en ces termes :

« Je vous demande, Monsieur le Ministre, de voir au delà de la fondation du Laboratoire. N'avons-nous pas le droit de prévoir le moment où nous pourrions fonder, à côté de celui-ci, une École pratique d'Électricité? L'Électricité, par ses développements et sa vulgarisation, est arrivée à constituer véritablement une branche spéciale des sciences physiques; elle touche à tout, on a besoin d'elle partout; en Mécanique, dans la Métallurgie, dans les recherches et les applications de la Chimie; elle domine toutes les sciences positives; on a besoin de spécialistes électriciens, et ceux-ci n'ont pas d'École spéciale où ils puissent se former. La Société Internationale des Électriciens offre à l'État son concours pour combler cette lacune dans l'Enseignement scientifique pratique. »

L'idée de l'École supérieure d'Électricité était tout entière contenue dans ces mots; mais les premières années, comme il était à prévoir, furent suffisamment remplies par l'organisation du Laboratoire, pour que la création de l'École fût remise à plus tard; au reste, il ne pouvait être question de l'installer dans des locaux purement provisoires et très primitifs. L'inauguration, en 1893, des nouveaux bâtiments de la rue de Staël, où, pour la première fois, la Société Internationale des Électriciens se sentait chez elle et assurée de l'avenir, fut pour elle l'occasion d'affirmer de nouveau en public qu'elle n'entendait pas se reposer sur les résultats déjà obtenus, mais que, le Laboratoire étant désormais en bonne voie, elle entendait diriger son activité du côté de la formation des ingénieurs-électriciens : « C'est dans cet ordre d'idées, disait alors dans son

discours d'inauguration, en présence du Ministre du Commerce, M. Mascart, Membre de l'Institut, Président de la Commission administrative du Laboratoire, c'est dans cet ordre d'idées qu'il nous reste à faire un grand effort pour y mettre plus de méthode et de coordination. »

M. Mascart, qui, on l'a vu plus haut, avait tant fait pour le Laboratoire, se consacra dès lors à l'École qui ouvrit ses portes le 1^{er} décembre 1894 avec 12 élèves.

Des bâtiments nouveaux, un matériel nouveau et, par suite, des fonds nouveaux devenaient nécessaires. Encore une fois, M. Mascart fit appel à la libéralité des industriels; une nouvelle liste de souscription se couvrit des mêmes noms, et l'École commença à fonctionner, modestement d'abord, comme l'avait fait le Laboratoire, mais avec un succès toujours croissant; le nombre des élèves augmenta rapidement: les promotions du début furent de 12 à 15 élèves; elles varient aujourd'hui de 80 à 90; le nombre total des élèves qui ont passé par l'École du 1^{er} novembre 1894 au 1^{er} novembre 1904 est de 572 se répartissant ainsi :

Officiers et ingénieurs désignés par les Ministères de la Guerre, de la Marine, du Commerce et de l'Industrie.	43
Ingénieurs des Arts et Manufactures.....	130
Anciens élèves de l'École Polytechnique.....	82
— des Mines ..	15
— des Ponts et Chaussées.....	10
— des Écoles d'Arts et Métiers ..	79
Licenciés ès sciences	42
Élèves étrangers.....	54
Divers	117

Depuis sa fondation, l'École a reçu de précieuses consécration officielles; l'École centrale des Arts et Manufactures y entretient chaque année un certain nombre de boursiers; le Ministère de la Guerre y délègue chaque année un certain nombre d'officiers (capitaines ou lieutenants), en général, quatre d'artillerie et deux du génie; le Ministère de la Marine y a plusieurs fois délégué soit des officiers, soit des ingénieurs des constructions navales; enfin, par décision de M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie, en date du 5 mai 1902, la première année de l'École supérieure de Télégraphie se fait, sauf quelques cours spéciaux, à l'École supérieure d'Électricité.

Devant ces succès et ces besoins grandissants, et enhardie par le passé, la Société contracta en 1897 un emprunt de 60 000 fr

qui lui permet d'élever de deux étages les bâtiments de l'École.

Le matériel croissait en proportion et aujourd'hui nos élèves ont à leur disposition un remarquable ensemble de machines et d'appareils de toute espèce dont on trouvera plus loin la description.

L'École est administrée par un Conseil de perfectionnement qui a actuellement pour président, M. Mascart, Membre de l'Institut, et comme vice-président, M. Buquet, Directeur de l'École Centrale. Ce Conseil se compose de trois membres délégués de la Société Internationale des Électriciens ⁽¹⁾, des conférenciers de l'École et des membres fondateurs; ces derniers sont des hommes de progrès et d'initiative qui, s'intéressant aux choses de l'Industrie et en particulier de l'Électricité, contribuent à l'entretien de l'École et à l'accroissement de son matériel soit par une subvention annuelle de 1000 fr, soit par une souscription unique de 10000 fr. Les personnes qui désirent devenir membre fondateur, doivent adresser une demande au Président du Conseil de l'École qui, dans sa plus prochaine séance, se prononce sur leur admission, et dès lors elles peuvent suivre d'une manière active tout ce qui touche à l'École, puisque toutes les questions importantes sont portées devant le Conseil de perfectionnement.

Telle est l'histoire résumée de ces deux belles fondations de la Société Internationale des Électriciens; deux grands prix à l'Exposition universelle de 1900, l'un dans la classe 3 (Enseignement supérieur), l'autre dans la classe 27 (Applications diverses de l'Électricité), ont été la reconnaissance officielle de la haute valeur de ces institutions; elles constituent un remarquable exemple des résultats que peut obtenir l'initiative privée au moyen de ressources bien modestes si on les compare aux millions dont sont dotées, en certains pays étrangers, les institutions analogues : que nos donateurs, trop nombreux pour pouvoir être nommés tous ici, reçoivent en hommage ce travail où nous avons essayé de montrer le développement et la prospérité des établissements qu'ils ont contribué à fonder.

P. JANET.

(1) Ces trois membres sont : MM. Potier, Membre de l'Institut, Pollard, directeur du Génie maritime, Joubert, inspecteur général de l'Instruction publique.

II. — LE LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ.

COMMISSION ADMINISTRATIVE.

Président.

Mascart (E.), Membre de l'Institut, Directeur du Bureau central météorologique de France.

Secrétaire.

Sartiaux (Eug.), Ingénieur chef des Services électriques aux *Chemins de fer du Nord*.

Membres.

Les **Membres du Bureau** de la *Société Internationale des Électriciens*.

Les **anciens Présidents** de la *Société Internationale des Électriciens*.

Le **Président** du *Syndicat professionnel des Industries électriques*.

Chautard, Délégué du Conseil municipal de la Ville de Paris.

PERSONNEL.

Directeur du Laboratoire.

Janet (Paul), Professeur à l'Université de Paris.

Chef de Travaux faisant fonction de Sous-Directeur.

Laporte (Frédéric), ancien élève de l'*École Polytechnique*, Ingénieur civil des Mines.

Chefs des Travaux.

Durand (Albert), Licencié ès sciences physiques, Diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*.

David (Charles), Ingénieur civil, Diplômé de l'Institut industriel du Nord de la France.

Jouaust (Raymond), Licencié ès sciences, Diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*.

MATÉRIEL MOTEUR, GÉNÉRATEUR ET TRANSFORMATEUR ⁽¹⁾.

Moteurs thermiques (machine à vapeur et moteur à gaz).	33	kilowatts
Dynamos et moteurs à courant continu.....	64	—
Alternateurs et alternomoteurs.....	60	—
Transformateurs.....	97	—
Accumulateurs.....	20	—
Total.....	274	kilowatts

(¹) Voir aussi p. 598 le matériel de l'*École supérieure d'Électricité*.

I. — DESCRIPTION SOMMAIRE DU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ.

(Pl. I et II.)

Le Laboratoire Central, dont on a vu plus haut le but et le rôle, dispose d'une surface bâtie de 780 m^2 , sur laquelle 420 m^2 comprennent rez-de-chaussée et premier étage en bordure sur la rue de Staël (*fig. 1* et *2*). L'entrée principale (*fig. 3*) donne accès dans un vestibule transformé en musée historique : c'est là qu'a été transportée en grande partie, grâce aux actives démarches de M. Eug. Sartiaux, la si remarquable exposition centennale de 1900. Une autre large porte donne accès de la rue dans une cour intérieure (*fig. 4*) et, par là, dans la salle des machines, où les pièces lourdes peuvent être rapidement déchargées au moyen d'un pont roulant de six tonnes.

Nous donnerons, dans ce qui va suivre, une description sommaire des installations générales du Laboratoire, les descriptions particulières se trouvant dans le chapitre suivant, réservé à l'étude des méthodes de mesures.

1. Salle des machines.

(Pl. III et IV.)

Dispositions générales. — La salle des machines du Laboratoire s'étend entre la rue de Staël et la rue Ernest-Renan, sur une longueur de 23,6 m et une largeur de 8 m. Elle est complètement indépendante des locaux du Laboratoire, afin d'éviter autant que possible les perturbations causées sur les appareils de mesure par les vibrations ou le mouvement de masses magnétiques importantes.

Elle est desservie par un pont roulant de 6 tonnes, construit par la maison Sautter-Harlé.

Sur presque toute la longueur du hall, s'étend un arbre de transmission, placé à 0,80 m du sol et qui, par l'intermédiaire de courroies, est attaqué, à une de ses extrémités, par un moteur à vapeur et, à l'autre, par un moteur à gaz. Vers le milieu de la longueur de cet arbre, se trouve un manchon d'embrayage à dents permettant de rendre les deux tronçons solidaires ou indépendants. La vitesse normale de l'arbre est de 250 t : m ; des poulies de différents diamètres permettent d'obtenir les rapports de vitesse voulus.

Parallèlement à la transmission, s'étendent deux forts rails en fonte à rainures, fixés sur un massif en maçonnerie et distants d'axe en axe de 1,30 m. Sur ces rails qui sont rainurés, peuvent se fixer transversalement, à des distances quelconques, des traverses en fonte sur lesquelles on boulonne les machines.

En face de la grande porte, les rails ont été remplacés par un plancher en madriers sur lesquels on peut fixer, au moyen de tire-fonds, les machines ou autres appareils en installation provisoire. Au-dessus de la transmission, à 2 m du sol, court une passerelle sur laquelle sont installés les tableaux de distribution.

Machines motrices. — La force motrice nécessaire aux différents services est produite par quatre moteurs principaux : une machine à vapeur, un moteur à gaz et deux moteurs électriques alimentés par le Secteur.

La *machine à vapeur* (*fig. 5*) est du type demi-fixe; elle sort des ateliers Weyer et Richemond. La machine est compound sans condensation et peut fournir environ 20 kilowatts à la vitesse de 110 t : m, la pression d'admission étant de 7 kg : cm². La chaudière est du type Thomas Laurens à retour de flamme. Les gaz chauds sont évacués par une cheminée en tôle de 25 m de hauteur.

Le *moteur à gaz* (*fig. 6*) est du type Charon, monocylindrique. Il est alimenté au gaz de ville. Sa puissance est de 13 kilowatts à la vitesse de 180 t : m. Ce moteur est plus spécialement affecté au service régulier de la charge des batteries d'accumulateurs.

Comme *moteurs électriques*, nous trouvons un moteur synchrone de 40 kilowatts à 504 t : m construit par la maison Hillairet-Huguet avec excitatrice montée en bout de l'arbre (*fig. 7*) et un moteur asynchrone de 7,5 kilowatts à 600 t : m, de la Compagnie générale électrique de Nancy. Ces machines fonctionnent sous la tension de 220 volts (fréquence 42).

Indépendamment de ces machines, les dynamos à courant continu, dont nous parlerons plus loin, sont souvent employées comme moteurs, l'énergie étant alors fournie par les batteries d'accumulateurs.

En somme, le Laboratoire dispose d'environ 80 kilowatts de puissance mécanique utilisable.

Machines génératrices. — Comme *génératrices à courant continu* nous trouvons actuellement :

1° Une dynamo Sautter-Harlé type Manchester de 15 kilowatts, tension 80 à 160 volts à 800 t : m ;

2° Une machine Phoenix, type supérieur de 36 kilowatts, pouvant débiter 1200 ampères sous 30 volts à la vitesse de 900 t : m ;

3° Une dynamo de la Compagnie générale électrique de Nancy, de 7.5 kilowatts, fournissant 500 ampères sous 15 volts à 600 t : m ;

4° Une dynamo Edison Hopkinson de 9 kilowatts tension 100 à 180 volts à 1600 t : m.

Toutes ces machines peuvent être excitées soit en dérivation, soit indépendamment.

5° Un grand nombre de petites machines de moindre puissance.

Les sources de courant alternatif placées dans la salle des machines sont :

1° Un alternateur à 10 pôles de 15 kilovolts-ampères, construit par l'Éclairage Électrique. Le système inducteur est fixe et l'on peut y monter deux induits. L'un de ces induits est enroulé en anneau ; il comporte 6 bagues et un collecteur, de sorte que l'on peut recueillir des courants monophasés, biphasés, triphasés et continus. L'autre induit comprend trois circuits décalés de 120°, complètement indépendants et aboutissant également à 6 bagues que l'on peut connecter suivant les besoins ;

2° Le moteur synchrone de 40 kilowatts, dont il a été question plus haut, est également utilisé comme alternateur mono ou triphasé. A cet effet, l'induit a été également divisé en 3 circuits complètement indépendants, dont deux seulement sont utilisés lorsque la machine fonctionne comme moteur monophasé à 220 volts ; comme alternateur triphasé, la machine peut fournir 60 kilovolts-ampères ;

3° Un groupe de trois transformateurs statiques monophasés alimentés par le Secteur de la rive gauche. (Tension d'alimentation : 3000 volts, fréquence 42.) Deux de ces appareils ont une puissance de 10 kilovolts-ampères et le troisième a une puissance de 20 kilovolts-ampères.

Un des transformateurs de 10 kilowatts comporte deux enroulements secondaires à 55 volts, le second comprend deux enroule-

ments à 110 volts et le troisième deux enroulements à 220 volts. A l'aide d'un combinateur approprié, on peut grouper ces enroulements en série, en parallèle, ou en série parallèle, de telle sorte que l'on dispose de tensions comprises entre 55 et 770 volts.

Un autre transformateur de 20 kilowatts à 110 volts, placé dans le sous-sol, fournit l'énergie nécessaire pour l'éclairage.

2. Salle des accumulateurs.

(Pl. VI et VII.)

Le Laboratoire dispose actuellement de 4 batteries d'accumulateurs (non comprise une batterie de 500 petits éléments, servant à l'étalonnage des voltmètres et dont nous parlerons plus loin). La salle qui les renferme (*fig. 11*) est largement éclairée et ventilée par deux grandes fenêtres, le sol est bitumé et toutes les précautions ont été prises pour assurer un isolement aussi parfait que possible. Trois de ces batteries comprennent 66 éléments, la quatrième comprend 4 gros éléments plus spécialement destinés à fournir des courants intenses pour l'étalonnement des ampèremètres et des compteurs. Ces accumulateurs ont été fournis par les maisons Tudor, Geoffroy-Delore, Blot et Société Franco-russe.

Le tableau suivant renferme les principales caractéristiques de ces batteries :

Désignation des types.	Nombre d'éléments.	Dimensions des bacs en mm.	Nombre de plaques par élément.	Poids total en kg.	Capacité en ampère- heures.	Courant normal de décharge en ampères.
Tudor.....	66	270 × 260 × 210	11	64	150	25
Geoffroy-Delore	66	400 × 200 × 210	5	49	120	25
Blot.....	36	380 × 320 × 330	13	80	300	60
Société Franco-russe. }	30	350 × 310 × 220	13	75	300	60
Tudor.....	4	700 × 415 × 550	25	550	1000	1000

Afin d'obtenir toute la souplesse de groupement désirable, ces éléments sont connectés, avec les lignes et le tableau que nous décrivons plus loin, à l'aide d'un double jeu de commutateurs et de cavaliers en cuivre plongeant dans des godets remplis de mercure.

On peut, par exemple, obtenir les combinaisons extrêmes suivantes : monter toutes les batteries en tension; on disposera alors d'environ 20 ampères sous 400 volts; disposer les éléments par

groupes de 4 en tension et réunir tous ces groupes en parallèle; on pourra alors disposer d'environ 1500 ampères sous 8 volts.

Les quatre gros éléments Tudor (*fig. 13*) ont un montage spécial qui donne encore plus de souplesse. A cet effet, le long de ces éléments, courent deux barres de cuivre isolées, de 3 m de longueur et $40 \times 50 = 2000 \text{ mm}^2$ de section; sur ces barres sont soudés des godets remplis de mercure et correspondant respectivement deux à deux avec des godets semblables fixés sur les queues de connexions des plaques. Des cavaliers en cuivre enfoncés dans les godets permettent de grouper les éléments avec la plus grande facilité; comme chacun des accumulateurs peut débiter 1000 ampères, on peut obtenir 1000 ampères sous 8 volts; 2000 ampères sous 4 volts ou 4000 ampères sous 2 volts.

La ligne de charge est connectée à l'une des extrémités des barres, la ligne d'utilisation à l'autre extrémité; elle est constituée par des barres de cuivre ayant 900 mm^2 qui traversent le mur pour se rendre dans la salle de mesure des intensités.

3. Distribution.

(Pl. IV, V et VI.)

La distribution du courant dans les différents locaux d'un Laboratoire est un des problèmes les plus complexes que l'on puisse rencontrer; il ne s'agit pas en effet ici d'un service fixe comme l'éclairage ou la force motrice, mais d'un service éminemment variable, où, d'un jour à l'autre, peuvent varier les intensités, les tensions, les phases et les fréquences des courants qu'on utilise.

La distribution de l'électricité au Laboratoire central est assurée par deux tableaux : un tableau principal à 18 panneaux dont 3 vacants, de 12 m de long sur 2,20 m de hauteur, situé dans la salle des machines; et un tableau secondaire de 1,80 m de longueur et de 1,20 m de hauteur, dans la salle contiguë à la salle des accumulateurs.

Tableau général de distribution (fig. 8, 9 et 10). — Ce tableau, qui est installé dans la salle des machines, sur la passerelle, au-dessus de l'arbre de transmission, a été étudié en vue de permettre le plus grand nombre de combinaisons possible entre les générateurs, les batteries d'accumulateurs et les lignes desservant les

différentes salles; pour obtenir ce résultat, on applique le principe du commutateur suisse; c'est-à-dire de deux systèmes de barres horizontales et verticales se croisant et pouvant être réunies entre elles à l'aide de pièces de connexions appropriées. Ce tableau a été construit par la Société Industrielle des Téléphones.

En principe, chaque générateur ou chaque ligne est réunie à deux barres verticales et, sur toute la longueur du tableau, courent douze barres horizontales croisant les premières et pouvant être réunies à l'une quelconque d'entre elles; ce système permet, par le simple déplacement des pièces de connexion, toutes les combinaisons désirables : groupement des générateurs en parallèle ou en série, alimentation d'une ligne par un générateur quelconque, etc.

Actuellement, ce tableau se compose de quinze panneaux qui ont les destinations suivantes (à partir de la gauche) :

Panneaux I, II et III	Lignes de charge d'accumulateurs.
— IV.....	Transformateurs du Secteur.
— V, VI, VII et VIII...	Artères pour le Laboratoire et l'École.
— IX.....	Moteurs de l'atelier.
— X.....	Dynamo Sautter.
— XI.....	— Phœnix.
— XII et XIII.....	Alternateur de la Société l'Éclairage électrique.
— XIV.....	Dynamo de la Compagnie Générale électrique de Nancy.
— XV.....	— Edison.

L'appareillage a été réduit aux appareils indispensables; pour les panneaux de lignes, il comprend simplement un interrupteur et un coupe-circuit bipolaire avec des disjoncteurs en plus pour les lignes de charge d'accumulateurs.

Tous les panneaux de dynamos à courant continu sont identiques et comportent un interrupteur et un coupe-circuit bipolaires, un rhéostat de champ, un commutateur bipolaire à deux directions pour le voltmètre et un ampèremètre; les conducteurs d'excitation aboutissent à deux bornes, que nous désignerons par A et B, placées au-dessous des barres horizontales; en réunissant respectivement les bornes A et B aux bornes A' et B' du panneau, la machine fonctionne en auto-excitation; lorsque l'on veut lui donner une excitation indépendante, on enlève les connexions AA' et BB' et, à l'aide de câbles souples, on réunit les bornes A et B à l'une quelconque des barres horizontales sur lesquelles sont fixées des pièces filetées où viennent se visser les extrémités des câbles souples.

Les pièces de connexion entre les barres horizontales et verticales ont été étudiées tout spécialement et peuvent supporter des courants de 500 ampères; on a renoncé complètement aux fiches des tableaux suisses ordinaires; les pièces de connexion, en forme de **V**, sont feuilletées et, au moyen d'une forte vis de pression, assurent un contact excellent entre les barres à réunir.

On voit que ce genre de tableau est très souple et se prête très bien aux agrandissements; pour chaque générateur ou chaque nouvelle ligne, il suffit d'installer le panneau correspondant et de prolonger les barres horizontales; trois nouveaux panneaux seront montés incessamment.

Les génératrices sont réunies au tableau par des câbles sous-plomb élongés dans des caniveaux en bois légèrement surélevés au-dessus du sol pour permettre le lavage à grande eau de la salle.

Les lignes de charge d'accumulateurs et les lignes de feeders sont aériennes, en câbles nus; elles passent au-dessus du pont roulant et sortent dans la cour d'où elles se dirigent vers les différents locaux à desservir.

Tableau secondaire de distribution (fig. 12). — Ce tableau est installé dans la salle mitoyenne de celle des accumulateurs, afin de réduire au minimum la longueur des lignes de connexions; le mur a été ouvert sur toute la surface correspondant au tableau, de telle sorte que celui-ci est accessible des deux côtés; il est destiné à la subdivision et à la distribution dans les différentes salles du Laboratoire des courants provenant des batteries d'accumulateurs.

On a vu que ces batteries sont au nombre de trois ⁽¹⁾ (de 66 éléments chacune). En principe, les appareils correspondant à chaque batterie sont : un interrupteur unipolaire, deux interrupteurs à fiches, deux réducteurs à dix directions, quatre plots de prise de courant, deux coupe-circuit, un rhéostat de charge et un ampèremètre. Un seul voltmètre suffit à tous les besoins, grâce à un commutateur approprié.

Les 36 premiers éléments de chaque batterie sont respective-

(1) Sans compter les quatre gros éléments de 1000 ampère-heure (pour une décharge en 1 heure) destinés aux fortes intensités.

ment connectés de quatre en quatre aux deux réducteurs dont les plots correspondants sont réunis en parallèle; les centres de ces deux réducteurs aboutissent à deux plots que nous appellerons P_2 et P_3 ; les 30 éléments restants sont intercalés entre deux autres plots P_1 et P_4 .

On voit qu'en plaçant une fiche de prise de courant sur P_1 et l'autre sur P_2 , P_3 ou P_4 , on pourra disposer de tensions variant pour une batterie de 8 à 130 volts par intervalles de 8 volts; par le groupement en série des différentes batteries, on dispose de 8 à 400 volts par intervalles de 8 en 8 volts; enfin, en utilisant les quatre gros éléments qui sont réunis un à un aux commutateurs correspondants, on peut même obtenir des variations de 2 en 2 volts.

Les couplages en parallèle se font d'une manière analogue. Enfin, en utilisant des coupleurs spéciaux à mercure, placés dans la salle des accumulateurs, tous les groupes de 4 éléments peuvent eux-mêmes être mis en parallèle.

Les prises de courant continu se font sur le tableau décrit ci-dessus à l'aide de câbles souples terminés par des fiches coniques que l'on enfonce dans les plots P .

Les lignes que l'on peut ainsi connecter sont au nombre de 20. La prise de contact par fiche a pu être adoptée ici, les courants utilisés ne dépassant guère 50 ampères sur ce tableau.

Sur ces vingt lignes, quatre aboutissent au tableau de la salle des machines, deux vont à l'École, deux autres desservent, sous le nom de *lignes omnibus*, les salles du rez-de-chaussée et du premier; les douze lignes restantes correspondent à des montages fixes faits dans les différents laboratoires (photomètre, groupe moteur-générateur de la salle des courants alternatifs, essais d'accumulateurs, etc.).

Du tableau de la salle des machines, partent également deux lignes ayant 100 mm² de section; elles courent tout le long du couloir du rez-de-chaussée et des dérivations entrent dans chaque salle.

Les circuits d'éclairage sont alimentés par du courant fourni par le Secteur de la rive gauche et aboutissent dans la salle d'attente à un tableau où sont branchées également quelques lignes d'essais.

4. Locaux.

(Pl. I et II.)

Le Laboratoire dispose de neuf salles de mesures, ayant uniformément 24 m² et desservies par deux couloirs largement éclairés au rez-de-chaussée et au 1^{er} étage, d'une grande salle de 72 m² (longueur, 16 m) pour la photométrie des arcs (¹), de trois bureaux ou salles d'élèves et d'une salle d'attente. La comptabilité se fait dans les bureaux de la Société Internationale des Électriciens. Nous décrirons dans le Chapitre suivant le matériel particulier des salles de mesures. Les salles ont les affectations suivantes :

- 1° Ampèremètres et compteurs à courant continu;
- 2° Voltmètres à courant continu;
- 3° Résistances usuelles et essais magnétiques;
- 4° Résistances de précision et essais d'isolement;
- 5° Photométrie des lampes à incandescence;
- 6° — des lampes à arc;
- 7° Hautes tensions alternatives;
- 8° Grandes intensités et tensions usuelles alternatives;
- 9° Essais d'accumulateurs;
- 10° Essais divers.

(¹) Cette salle se trouve actuellement dans les nouveaux locaux acquis récemment à la Ville Paris.

II. — EXPOSÉ SOMMAIRE DES PRINCIPALES MÉTHODES DE MESURE EMPLOYÉES AU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ.

1. Mesure des résistances.

(Pl. IX.)

A. RÉSISTANCES DE PRÉCISION. — Le Laboratoire effectue des mesures de résistances de précision, soit pour l'extérieur, soit pour le contrôle de ses propres boîtes de résistances.

Le point de départ de toutes ces comparaisons est constitué par deux ohms à mercure, du type dit *secondaire*, à tube replié. Ils ont été confiés au Laboratoire par le Ministère des Postes et Télégraphes et ont été étudiés par MM. Benoit et de Nerville dans leurs recherches sur l'ohm légal.

L'un de ces ohms a un tube en cristal, l'autre un tube en verre; ces tubes ont été étudiés par M. Benoit au pavillon de Breteuil.

Les valeurs à 0° de ces étalons en ohms légaux, déduites de leur comparaison avec l'élément prototype à tube rectiligne, sont les suivantes :

Ohm n° 44. Tube en verre... 0,999957
avec

$$R_t = R_0(1 + 0,0008760t + 0,000001054t^2);$$

Ohm n° 68. Tube en cristal... 0,999668
avec

$$R_t = R_0(1 + 0,0008741t + 0,000001053t^2).$$

Les comparaisons se font, suivant l'ordre de grandeur des résistances, soit avec un pont à fil de laiton (*fig.* 17), soit avec un pont à fil de platine; ces deux appareils, de haute précision, sortent de la maison Carpentier et leurs fils sont rigoureusement calibrés. La résistance linéaire du fil de laiton est de 0,00007675 ohm par millimètre à 10 degrés centigrades.

Le galvanomètre employé dans les mesures est un Thomson-Carpentier de haute sensibilité.

Outre les étalons au mercure décrits plus haut, le Laboratoire possède une double série de résistances étalonnées, en maillechort, de 1, 10 et 100 ohms, ainsi que des résistances accouplées de façon à former les bras de proportion nécessaires dans l'emploi de la méthode de Benoit et de Nerville.

Ces étalons ont souvent été comparés entre eux et aux ohms à mercure. Il est nécessaire de faire périodiquement cette vérification, car les alliages métalliques éprouvent avec le temps des modifications de structure qui entraînent des variations de résistance. Nous pouvons en citer un exemple typique observé au Laboratoire. Il s'agit d'une caisse de conductance comprenant dix résistances de 1 ohm plongées dans un bain de pétrole et pouvant être mises en série ou en parallèle.

Le Tableau suivant donne les résultats obtenus.

Mesures successives d'une même boîte de résistances de 10 ohms en maillechort.

Dates.	Température.	Valeur.	Valeur ramenée à 15 degrés.	Moyenne.	Observateurs.
20 août 1890.....	19,6	10,01850	10,00283	10,00148	J., C.
	19,7	10,01789	10,00222		
	21,4	10,02119	9,99939		
Juillet 1891.....	22,65	10,03136	10,00528	10,00551	L., C., E.
	20,9	10,02586	10,00575		
Octobre 1894.....	7,85	9,99977	10,02408	10,02337	L., C., E.
	18,45	10,03575	10,02399		
	19,9	10,03876	10,02204		
Janvier et février 1897....	9,5	10,007719	10,02643	10,02612	L., C., E.
	11,8	10,01447	10,02535		
	11,25	10,01382	10,02659		
18 novembre 1898.	17,75	10,03641	10,02703	10,02703	J., C.

B. RÉSISTANCES USUELLES. — Les mesures se font, soit au pont de Wheatstone, soit au pont double de Thomson, suivant l'ordre de grandeur des résistances à mesurer.

La boîte à pont est une boîte de précision en décade de Carpentier permettant de faire varier le rapport des bras de proportion entre 1000 et $\frac{1}{1000}$ et, par conséquent, permettant de mesurer de $\frac{1}{1000}$ d'ohm à 10 mégohms.

Le pont double sort également de la maison Carpentier et permet de mesurer depuis $\frac{1}{100000}$ d'ohm jusqu'à 1 ohm.

Enfin, lorsque les appareils précédents ne suffisent plus, nous montons un pont double de toutes pièces en utilisant les résistances étalonnées de $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1000}$, $\frac{1}{10000}$ d'ohm, à circulation d'eau, qui servent habituellement aux mesures d'intensité, ce qui permet de faire passer un courant pouvant atteindre 2000 ampères dans les résistances faibles à mesurer.

C. RÉSISTANCES D'ISOLEMENT. — La méthode adoptée le plus généralement est la méthode de la déviation (*fig. 18*).

La *pile* employée est composée de 500 éléments du genre Leclanché construits par la maison Delafon et donnant 750 volts; elle est disposée en cinq boîtes de 100 éléments chacune, enfermées dans un meuble soigneusement isolé du sol; chacune des planches portant une des boîtes est elle-même isolée du meuble. De nombreuses ouvertures pratiquées dans les parois permettent de faire facilement toutes les connexions nécessaires. La force électromotrice utilisée est mesurée avec un électromètre multicellulaire.

Le *galvanomètre* employé est un galvanomètre Thomson-Carpentier ayant une constante de 17 000 mégohms pour une durée d'oscillation de 20 secondes; un inverseur placé dans le circuit permet de faire les lectures dans les deux sens, de façon à éliminer l'influence des dissymétries qui pourraient se produire. Une clef de court-circuit sert à protéger le galvanomètre contre le courant de charge qui se produit au moment de la fermeture du circuit.

Tous ces appareils sont placés sur une table dont le dessus est plaqué en ébonite et, par surcroît de précaution, des blocs de paraffine sont intercalés entre la table et chaque appareil.

D'ailleurs, les précautions les plus minutieuses sont prises dans la préparation du montage de chaque expérience, pour éviter les défauts d'isolement qui seraient susceptibles de fausser les mesures.

Les études qui se présentent le plus souvent sont les mesures des résistances d'isolement des câbles et des isolateurs.

1° *Résistance d'isolement des câbles.* — La détermination de la résistance d'isolement d'un câble se fait, après immersion pendant 24 heures dans l'eau, soit à la température ambiante, soit à la température de 24°.

Le laboratoire possède, pour cet usage, un jeu de cuves appropriées aux diverses dimensions qui se présentent le plus généralement.

Avant son immersion, les extrémités du câble ont été soigneusement paraffinées, autant pour empêcher l'introduction de l'humidité, que pour éviter les erreurs que la conductibilité de ces extrémités pourrait causer dans les mesures.

La force électromotrice utilisée dans ce genre de mesures doit

être assez élevée pour donner de la sensibilité à la méthode et aussi pour pouvoir négliger les forces contre-électromotrices de polarisation qui peuvent se produire au contact de l'eau.

On sait, d'ailleurs, que les résistances d'isolement sont loin d'obéir à la loi d'Ohm et qu'elles sont fonction de la force électromotrice avec laquelle on les a déterminées. Aussi, est-il important, lorsqu'on veut mesurer la résistance d'isolement d'un câble, de faire autant que possible cette détermination avec la tension sous laquelle il doit être employé.

L'étude de l'isolement d'un câble immergé consiste à déterminer en fonction du temps les variations de sa résistance d'isolement. On constate que cette résistance, qui croît très vite dans les premiers instants, devient constante au bout d'un certain temps, très variable d'un câble à l'autre.

Les essais sont effectués en réunissant successivement à l'âme du câble l'un et l'autre des pôles de la batterie de piles, l'autre pôle étant réuni au liquide de la cuve.

Si l'isolement du câble ne présente pas de défauts, la courbe représentant en fonction du temps la variation de la résistance d'isolement doit être à peu près la même dans les deux cas.

Si, au contraire, cet isolement présente des défauts, les deux résultats sont notablement différents. On constate, d'ailleurs, dans ce cas, que la résistance d'isolement, au lieu de croître en fonction du temps d'une façon régulière, présente des variations (augmentations et diminutions) extrêmement brusques.

2° Résistances d'isolement des isolateurs. — Lorsqu'il s'agit de mesurer la résistance d'isolateurs, on opère généralement sur un groupe de 10 à 20 de ces appareils fixés côte à côte sur une traverse isolée du sol. Les ferrures sont réunies entre elles; les collets sont entourés de papier d'étain et un fil de cuivre nu s'enroulant sur ce papier d'étain réunit également les collets entre eux.

On opère aussi en retournant les isolateurs dont les ferrures sont mises en parallèle, dans une cuve pleine d'eau.

D. RÉSISTIVITÉS : 1° *Résistivités métalliques.* — Les mesures de résistances se font au moyen des appareils décrits ci-dessus; les mesures des dimensions transversales au moyen du palmer (un

grand nombre de mesures sont ordinairement faites sur le même échantillon); les mesures de longueur se font de deux manières, suivant qu'il s'agit d'une tige ou d'un fil.

Dans le premier cas, on se sert en général de couteaux qui viennent s'appuyer sur la barre à étudier, soutenue par une planchette isolante. Des vis permettent de graduer la pression. Chaque contact est indépendant, ce qui permet de faire varier la longueur de l'éprouvette étudiée, de façon à pouvoir utiliser le pont dans de bonnes conditions de sensibilité. Il est parfois commode d'utiliser, au contraire, des contacts rendus solidaires par un support rigide et isolant, de façon à opérer sur des longueurs d'éprouvette connues d'avance. Ce procédé est utilisé surtout pour les comparaisons de résistivité de charbons de lampes à arc.

Dans le second cas, le fil est enroulé sur un tambour d'ébonite de 35 cm de diamètre, à la surface duquel a été tracée une rainure hélicoïdale de 8 mm de pas. Deux bornes, placées en deux points tels que leur distance soit exactement de 100 m, permettent de limiter exactement la longueur de fil étudié. Une petite correction ($94\pi d$, d étant le diamètre de fil exprimé en mètres) est nécessaire; elle atteint seulement 3 à 6 millièmes pour un fil de 1 à 2 mm de diamètre.

La variation de la résistivité avec la température s'étudie de la manière suivante :

Un pont de Thomson est monté de toutes pièces, les deux résistances à comparer étant constituées par deux portions du fil à étudier.

Chacune de ces portions est plongée dans une cuve remplie de pétrole.

L'équilibre étant établi, on chauffe le pétrole de l'une des deux cuves au moyen de lampes à incandescence plongeant dans le liquide. Un thermomètre de précision plongé dans ce liquide permet d'évaluer sa température.

Le pont donne l'augmentation de résistance, d'où l'on déduit le coefficient de variation.

2° Résistivité des isolants. — Lorsqu'il s'agit de déterminer la résistivité d'une substance isolante, le Laboratoire opère sur des éprouvettes en forme de plaques aussi larges et aussi minces qu'on

peut les lui fournir. Pour éviter les causes d'erreur qui pourraient résulter des phénomènes de conductibilité superficielle, on a recours au dispositif classique de l'anneau de garde.

La grande difficulté, dans ce genre de mesure, consiste dans la réalisation des prises de contact avec la plaque isolante. Le procédé qui semble donner les meilleurs résultats et qui est employé chaque fois que la nature des substances le permet est le suivant :

L'éprouvette flotte sur un bain de mercure qui constitue une électrode. Sur la face supérieure de l'éprouvette, on dépose un cadre en bois qu'on remplit de mercure. On réalise ainsi l'électrode qui sera réunie au galvanomètre. Un double cadre en bois entoure le premier et du mercure versé dans l'épaisseur de ce double cadre constitue l'anneau de garde. Ce procédé n'est malheureusement pas applicable avec toutes les substances ; en particulier, si la substance étudiée a une surface rugueuse, le contact des cadres avec cette surface n'est pas suffisant pour empêcher le mercure de se répandre sur toute l'éprouvette. Il faut, dans ce cas, employer d'autres procédés, comme, par exemple, de coller sur les deux faces de la plaque des feuilles de papier d'étain, procédé qui offre l'inconvénient de faire attendre plusieurs jours avant de commencer les mesures, pour permettre à la colle de sécher. Dans aucun cas, on ne considère comme suffisantes les prises de contact par pression.

E. RÉSISTANCE DES TERRES DE PARATONNERRES. — La méthode employée est celle des deux terres auxiliaires : on réalise ces deux terres au moyen de piquets fichés en terre dans un sol humide ; ces deux terres, avec celle que l'on veut mesurer, forment trois groupes distincts dont on mesure la résistance soit au pont, l'appareil du zéro étant un Deprez-d'Arsonval à microscope de Carpentier, soit à l'ohmmètre Chauvin et Arnoux ; des trois équations obtenues, on élimine les résistances des deux terres auxiliaires.

Ces mesures de résistances des terres sont complétées par la mesure des résistances des différentes parties du réseau des tiges et des conducteurs. Il est inutile de rappeler combien ces mesures sont précieuses pour constater le bon état d'un système de paratonnerres, qui, dans le cas d'une mauvaise installation, est certainement plus dangereux qu'utile.

2. Mesure des forces électromotrices. Étalonnement des voltmètres à courant continu.

(Pl. VII et VIII.)

Le point de départ de tous les étalonnements est l'élément Latimer-Clark.

Le Laboratoire possède un certain nombre de ces éléments: les uns provenant de divers constructeurs (Hartmann et Braun, Carpentier, Elliott), les autres fabriqués au Laboratoire même.

La valeur admise pour l'élément Latimer-Clark est de 1,434 volt à la température de 15° C. Cette valeur n'est peut-être pas la valeur exacte.

On sait que les travaux de Jaeger à l'Institut physico-technique de Charlottenbourg ont déterminé cet établissement à admettre pour valeur du Clark à 15° C., 1,4328 volt. Mais le Laboratoire Central d'Électricité n'a pas cru devoir adopter ce nombre, la valeur 1,434 volt étant celle fixée par le décret du 2 mai 1896, relatif aux unités électriques et admise dans tous les pays étrangers, l'Allemagne exceptée. Le Laboratoire possède aussi plusieurs éléments Weston provenant de divers constructeurs ou fabriqués au Laboratoire.

L'élément Weston n'étant pas un étalon de force électromotrice légalement reconnu en France, ne peut servir de point de départ aux étalonnements, mais ces éléments sont utilisés dans les diverses comparaisons d'éléments qui ont lieu de temps en temps au Laboratoire pour s'assurer de la constance des étalons.

Remarquons que la comparaison de deux étalons entre eux se fait au moyen du dispositif potentiométrique employé avec une précision supérieure à celle que semblerait imposer le degré d'exactitude des boîtes, car, alors même que les deux étalons que l'on compare ne sont pas exactement égaux, les modifications à apporter au circuit potentiométrique pour établir l'équilibre pour l'un ou l'autre de ces éléments ne portent que sur des résistances de l'ordre de l'ohm, et même une erreur absolue assez grande sur la valeur de ces résistances n'introduirait qu'une erreur relative extrêmement faible dans la mesure que l'on effectue.

Les différents Clark du Laboratoire se montrent bien comparables

entre eux à moins de $\frac{1}{1000}$ près et les petites différences que l'on observe peuvent être attribuées à l'action de la température, le coefficient de variation étant assez élevé.

L'élément Weston, par suite de son coefficient de température bien moindre, ne présente pas cet inconvénient, mais les différents types de cet élément, ne provenant pas du même constructeur, n'ont pas exactement la même force électromotrice. Ces différences peuvent atteindre l'ordre du millième.

Le Laboratoire a d'ailleurs, à plusieurs reprises, vérifié directement la force électromotrice de ses divers étalons. Le principe de la méthode consistait à équilibrer la force électromotrice de ces piles par la différence de potentiel aux bornes d'une résistance connue parcourue par un courant qu'on pouvait mesurer exactement au moyen d'un appareil dont l'étalonnage pouvait être fait indépendamment de tout élément étalon. Cet appareil était l'ampère-balance de Pellat et la résistance utilisée consistait en 3 ohms pris sur la caisse de 10 ohms noyés dans du pétrole que possède le laboratoire.

Les dix résistances de cette caisse ont été l'objet de nombreuses comparaisons avec les étalons secondaires au mercure que possède le Laboratoire et leur valeur est parfaitement connue. Le résultat de ces mesures concorde bien d'une façon générale avec les résultats de l'Institut physico-technique et montre que la valeur 1,434 volt admise pour le Clark à 15° est un peu trop élevée.

La méthode employée pour la comparaison des forces électromotrices est la méthode potentiométrique appliquée au moyen des deux boîtes jumelles de Bouty.

Les deux boîtes utilisées sont des boîtes de précision Carpentier, construites en même temps et étalonnées à la même température. Les résistances de ces boîtes peuvent être considérées comme exactes à moins de $\frac{1}{2000}$ près.

Le choix de la source du courant du potentiomètre n'est pas indifférent.

Cette source doit être susceptible de fournir pendant un certain temps un courant inférieur à $\frac{1}{10000}$ d'ampère, mais parfaitement constant. Des accumulateurs ne conviennent pas toujours, car, lorsqu'ils sortent de charge, le courant qu'ils produisent est trop variable.

La source de courant utilisée au Laboratoire Central d'Électricité est constituée simplement par de grosses piles Delafon susceptibles de donner dans ces conditions un courant très constant pendant un temps très long.

L'étalonnement des voltmètres de précision se fait, comme avec tous les potentiomètres, au moyen d'une boîte de réduction à plusieurs sensibilités qui permet de réduire la différence de potentiel aux bornes de l'appareil à étalonner dans les rapports $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{200}$, $\frac{1}{400}$.

On peut ainsi étalonner des appareils de précision jusqu'à 600 volts.

L'étalonnement des voltmètres industriels se fait par comparaison avec un voltmètre de précision Weston fréquemment vérifié lui-même par la méthode potentiométrique.

La source d'énergie qui sert dans ces étalonnements est constituée par une batterie de 500 accumulateurs Invicta d'une capacité d'une dizaine d'ampèreheure.

Cette batterie (*fig. 14*) comprend 500 éléments réunis par groupes de 25 dans des caisses. Les éléments reposent dans ces caisses sur un lit de paraffine. Ces caisses sont elles-mêmes disposées sur des étagères isolées dans une grande armoire vitrée et isolée du sol.

Pour éviter toute projection d'acide, ce qui est très important lorsqu'il s'agit de l'isolement d'une batterie de 1000 volts, chaque élément est recouvert d'une épaisse couche de paraffine, dans laquelle est ménagé un trou; ce trou est fermé par un bouchon en celluloid muni d'orifices en chicane qui permettent la sortie des gaz tout en arrêtant les gouttelettes d'acide; cette disposition est très efficace, et la paraffine des boîtes est toujours parfaitement sèche sous le doigt.

Cette batterie est disposée dans la salle voisine de celle où se font les étalonnements; elle est montée en décades, exactement comme les boîtes de résistance et réunie à un petit tableau, entièrement monté sur ébonite, et placé dans la salle d'étalonnement (*fig. 16*); ce tableau est composé de trois réducteurs (unités, dizaines et centaines d'éléments) et d'un inverseur. On peut ainsi, avec un minimum de fils de communication, obtenir aux bornes du tableau toutes les tensions entre 0 et 1000 volts par fractions de 2 volts.

Signalons, pour terminer, que certains voltmètres industriels

donnent des indications très différentes suivant qu'on les laisse en circuit constamment ou seulement le temps d'une mesure : certains thermiques, par exemple, donnent des indications très différentes suivant la manière dont on les emploie ; quand il y a lieu, ce point est toujours indiqué par le Laboratoire.

3. Mesure des intensités. Étalonnement des ampèremètres à courant continu.

(Pl. VIII.)

Le principe de la méthode employée pour la mesure des intensités consiste à prendre la différence de potentiel aux bornes d'une résistance connue traversée par le courant à mesurer ; l'ampèremètre à étalonner est placé en série avec cette résistance et le courant est gradué au moyen d'un rhéostat très souple et pouvant satisfaire à tous les besoins.

Rhéostat. — Le rhéostat (*fig. 15*) est composé de 60 résistances, munies chacune d'un interrupteur, placées en dérivation sur deux larges barres de cuivre de 900 mm² de section. Ces 60 résistances se décomposent ainsi :

10 résistances pour 0,1 ampère sous 2 volts			
10	—	1	—
10	—	5	—
10	—	10	—
10	—	25	—
10	—	60	—
8	—	200 à 400	—

Ces résistances sont d'ailleurs assez largement calculées pour supporter des tensions supérieures à 2 volts, et elles nous ont souvent permis de monter jusqu'à 3500 ampères.

Ces courants intenses sont obtenus au moyen de la batterie de quatre gros accumulateurs Tudor décrits plus haut (p. 552) soutenus au besoin par la machine Phénix.

Résistances. — Les résistances connues employées (*fig. 15*) sont les suivantes :

0,1	ohm en tube de maillechort à circulation d'eau.
0,01	—
0,001	—
0,0001	— en lames de maillechort dans un bain de pétrole refroidi par une circulation d'eau.

Suivant l'intensité du courant à mesurer, on intercale l'une ou l'autre de ces résistances; l'installation est faite à poste fixe, et un jeu de godets à mercure permet de passer rapidement d'une résistance à l'autre.

Mesure de la différence de potentiel. — La mesure de la différence de potentiel aux bornes des résistances connues se fait soit au moyen d'un voltmètre de précision Weston, fréquemment contrôlé, soit, s'il s'agit de mesures de précision, par une méthode potentiométrique. A cet effet, une ligne spéciale réunit la salle d'étalonnement des ampèremètres à la salle des mesures de force électromotrice.

4. Étalonnement des wattmètres et des compteurs à courant continu.

L'étalonnement des compteurs à courant continu se fait dans la même salle que celui des ampèremètres; une installation spéciale permet la mise en service rapide et simultanée de tous les compteurs des types les plus courants; pour économiser l'énergie, l'étalonnement se fait toujours en séparant les circuits série et dérivé; le courant, dans le premier, est pris sur une source à basse tension et réglé au moyen des rhéostats décrits plus haut; la tension, aux bornes du second, est prise directement sur les batteries; courants et tension sont mesurés par les méthodes déjà décrites. Le Laboratoire a pu étalonner ainsi des compteurs à courant continu de 3000 ampères 500 volts.

L'étalonnement des wattmètres se fait de la même manière; il est tenu compte de l'action terrestre par des inversions de courant dans le fil fin.

5. Étalonnement des voltmètres et des ampèremètres à courants alternatifs.

(Pl. XI.)

Ces étalonnements se font dans une salle dont nous donnerons d'abord la description (1).

(1) Cette salle est plus spécialement affectée à l'étude des appareils à courants alternatifs (voltmètres, ampèremètres, compteurs) n'exigeant pas qu'on leur fournisse une puissance importante ou une tension très élevée; dans ces deux derniers cas, les essais sont faits dans la salle des machines ou dans la salle de haute-tension.

La salle des courants alternatifs est desservie par huit lignes, de sections comprises entre 10 et 100 mm² et aboutissant aux différents tableaux principaux dont il a été question plus haut. De plus, contre l'un des murs de la salle, sont scellés des isolateurs supportant six barres de cuivre étagées; deux de ces barres sont soutenues par des isolateurs à huile pour haute tension.

Grâce à ces différentes lignes, on peut disposer dans cette salle du courant fourni par les génératrices et les transformateurs de la salle des machines et par les batteries d'accumulateurs. En outre, dans la pièce même, se trouve un groupe (moteur-générateur) construit par la Société *L'Éclairage électrique*.

Groupe moteur-générateur. — Ce groupe comprend un moteur à courant continu de 4 kilowatts et un alternateur calés sur le même arbre (*fig. 21*). Le moteur est bipolaire type Manchester et à excitation indépendante; en agissant sur l'excitation et sur la tension aux balais, on peut faire varier sa vitesse dans de très grandes limites (jusqu'à 6000 t/m); l'alternateur étant à quatre pôles, on peut obtenir des fréquences allant jusqu'à 200 périodes par seconde.

L'induit de l'alternateur comporte deux enroulements ayant un point commun et décalés de 90°. Les forces électromotrices induites dans ces enroulements sont dans le rapport de 1 à 10; l'un peut supporter 60 ampères et l'autre 6 ampères. La force électromotrice efficace fournie par l'enroulement à fil fin à pleine excitation est de 800 volts à la fréquence 200.

Le circuit à gros fil est principalement utilisé pour l'étalonnage des ampèremètres jusqu'à 60 ampères et le circuit à fil fin pour les voltmètres.

La vitesse de rotation est réglée d'après les indications d'un cinémomètre enregistreur Richard.

Transformateurs. — On dispose, dans la même salle, de quatre transformateurs statiques construits par la Société *L'Éclairage électrique*, dont l'un est destiné à la production de courants intenses et les trois autres servent à obtenir des tensions élevées.

Le transformateur pour courants intenses (*fig. 22*) est d'une puissance de 5 kilowatts. Le secondaire se compose de deux spires seulement; la section de chacune d'elles est de 988 mm² et l'on peut

les grouper à volonté en série ou en parallèle. Le rapport de transformation est 20 ou 40 suivant le montage adopté, de telle sorte que, le primaire étant alimenté sous 100 volts, on peut obtenir au secondaire 1000 ampères sous 5 volts ou 2000 ampères sous 2,5 volts. Les tensions et intensités indiquées peuvent être doublées pour un fonctionnement de peu de durée.

Cet appareil est surtout employé pour l'étalonnement des ampèremètres et compteurs à courants alternatifs.

Les trois autres transformateurs sont ordinairement utilisés comme élévateurs de tension; les circuits primaires et secondaires comportent plusieurs enroulements que l'on peut connecter en série ou en parallèle, de façon à faire varier le rapport de transformation et dans de grandes limites (de 5 à 200).

La puissance de chacun d'eux est de 5 kilowatts.

L'un permet d'obtenir des tensions comprises entre 500 et 2000 volts, le circuit à basse tension étant alimenté sous 50 ou sous 100 volts. Dans les mêmes conditions, les deux autres transformateurs fournissent les tensions comprises entre 2000 et 15 000 volts.

Le dernier de ces appareils (transformateur potentiométrique) a été construit surtout en vue de l'étalonnement des électromètres : à cet effet, le circuit basse tension comprend quatre bobines et, suivant les groupements, on peut obtenir les rapports de transformation 50, 100 ou 200.

Le secondaire se compose de 50 bobines dont les extrémités sont reliées à des bornes. Si l'on maintient constante la différence de potentiel aux bornes du primaire, on dispose sur le secondaire d'une échelle de tensions permettant d'obtenir des points convenablement espacés pour les étalonnements.

Outre les transformateurs dont nous venons de parler, on peut disposer, dans cette pièce, des tensions fournies par les cinq transformateurs à haute tension qui sont placés dans la salle mitoyenne dont il sera question plus loin.

Appareils pour la mesure des tensions. — Les mesures de tensions se font à l'aide d'une série très complète d'électromètres, de voltmètres thermiques ou électrodynamiques, parmi lesquels nous

pourrons citer pour les faibles tensions, jusqu'à 70 volts, l'électromètre Mascart et l'électromètre Carpentier à miroir; pour les tensions jusqu'à 2000 volts, les électromètres multicellulaires de Kelvin, les voltmètres thermiques Hartmann et Braun et Richard, les voltmètres électrodynamiques Siemens et Halske; pour les tensions jusqu'à 12 000 volts, les électromètres à quadrants de Kelvin. Jusqu'à 1000 volts, ces appareils sont étalonnés en courant continu (sauf ceux dont les indications pourraient dépendre de la fréquence); au-dessus de 1000 volts, ils sont étalonnés soit par rapport à plusieurs des précédents mis en série, soit au moyen du transformateur potentiométrique, dont il a été question plus haut et dont on a étudié séparément tous les rapports de transformation.

Appareils pour la mesure des intensités. — Comme étalons secondaires pour les mesures d'intensité, le Laboratoire emploie ordinairement les balances électrodynamiques de Kelvin. Le Laboratoire possède la série complète de ces appareils depuis la balance dite *centi-ampère*, permettant de mesurer de 1 à 100 centi-ampères, jusqu'à la balance *kilo-ampère*, permettant de mesurer 2500 ampères.

Une étude systématique de ces balances nous a montré que, jusqu'à 500 ampères environ, ces appareils étalonnés en courant continu donnaient des indications exactes en courant alternatif; mais, pour des intensités plus grandes, des causes d'erreur (dues sans doute aux courants de Foucault et à l'effet Kelvin dans les barres constituant les circuits des balances) prennent une importance de plus en plus grande et les indications de l'appareil doivent être corrigées.

On a trouvé, par exemple, que la balance kilo-ampère du Laboratoire (*fig. 22*) retarde en moyenne de 4,3 pour 100 pour des fréquences comprises entre 25 et 60.

Les difficultés d'emploi et le prix élevé des instruments destinés à mesurer directement les courants alternatifs intenses ont conduit le Laboratoire à étudier les méthodes de mesure indirecte par transformation (1).

(1) Voir P. JANET, *Sur une méthode de mesure des courants alternatifs intenses étudiée au Laboratoire Central d'Électricité* (*Bulletin de la Société Internationale des Électriciens*, février 1903).

Mais, en même temps, on voulait éviter l'emploi des transformateurs du type ordinairement employé par les constructeurs d'instruments de mesures ; ces appareils sont, en général, lourds et encombrants, ils doivent être calculés et construits pour une intensité et une fréquence déterminées et il est nécessaire de les connecter au circuit dans lequel on veut mesurer l'intensité.

Nous avons donc étudié un transformateur simplifié, dans lequel le circuit magnétique est constitué par un anneau de tôles de faible poids, sur lequel sont enroulées un certain nombre de spires de cuivre fermées sur un ampèremètre (*fig. 22*).

Le primaire est constitué par le circuit dans lequel on veut mesurer l'intensité, l'anneau étant simplement enfilé sur le conducteur traversé par la forte intensité, conducteur qui peut former une ou plusieurs spires, suivant les cas.

Il résulte de cette étude (1) que nous sommes arrivés à réaliser un appareil de faibles poids et dimensions (poids de l'anneau de 250 spires : 2,2 kg; poids de l'anneau de 400 spires : 4,6 kg) de construction très simple, qui n'a aucune relation mécanique avec le circuit dont on mesure l'intensité de courant. On n'a donc ni résistances de contact, ni bornes, ni soudure, ni pertes d'énergie dans les contacts ; l'appareil se compose d'un circuit magnétique et du secondaire fermé sur un ampèremètre. Le primaire est le circuit dont on mesure le courant et dont la forme et les dimensions peuvent varier dans de grandes limites.

On étalonne l'appareil avec un courant aussi faible que l'on veut et l'on peut s'en servir pour la mesure d'un courant très intense ; de plus, l'appareil peut avoir plusieurs sensibilités, suivant le nombre de spires primaires.

Indépendamment des balances Kelvin et des ampèremètres qu'il est très facile de réaliser d'après la méthode indiquée ci-dessus, le Laboratoire possède une collection très complète de thermiques Carpentier et Hartmann et Braun.

6. Étalonnement des compteurs et wattmètres à courant alternatif.

Le programme de l'étude complète d'un compteur à courants alternatifs que le Laboratoire propose aux intéressés est le suivant :

(1) ILIOVICI, *Étude d'un ampèremètre à transformateur pour la mesure des fortes intensités* (*Bulletin de la Société Internationale des Électriciens*, février 1903).

Étalonnement à la fréquence normale et à la tension normale :

1° Sur circuit non inductif jusqu'à 125 pour 100 de l'intensité normale ;

2° Sur circuit inductif avec facteur de puissance jusqu'à 0,2.

Étalonnement à la puissance normale et à une tension de 25 pour 100 supérieure et inférieure à la tension normale :

1° Sur circuit non inductif ;

2° Sur circuit inductif.

Étalonnement à la tension normale et à une fréquence de 10 pour 100 supérieure ou inférieure à la fréquence normale :

1° Sur circuit non inductif ;

2° Sur circuit inductif.

Étalonnement à une tension différant de 25 pour 100 de la tension normale et à une fréquence différant de 10 pour 100 de la fréquence normale :

1° Sur circuit non inductif ;

2° Sur circuit inductif.

Influence de la température.

Influence d'un court-circuit.

Influence d'une marche en arrière sur la minuterie.

Consommation du circuit dérivé.

Puissance minima provoquant le démarrage.

Les variations de tension et de fréquence sont obtenues en agissant sur l'excitation ou la vitesse de l'alternateur employé ; les variations d'intensité au moyen de rhéostats de lampes et les variations de phase au moyen de bobines de réaction à noyau variable.

Les mesures de puissances se font au moyen de wattmètres préalablement étalonnés en courant continu.

Le Laboratoire dispose, pour ce genre de mesures, de wattmètres de torsion et de wattmètres à lecture directe.

Parmi les appareils du premier type, nous pouvons citer : deux wattmètres Ganz à deux sensibilités chacun, pouvant supporter respectivement 80 et 250 ampères dans l'enroulement série et munis de résistances additionnelles permettant de monter les circuits dérivés sur 4000 volts ; un wattmètre Carpentier pour 300 ampères avec résistances additionnelles pour 300 volts.

Les wattmètres à déviation comprennent une série d'appareils Siemens et Halske à deux sensibilités pour des intensités de courant comprises entre 2,5 et 400 ampères. Les résistances additionnelles pour circuits dérivés sont suffisantes pour intercaler les appareils sous 12000 volts.

Nous signalerons encore un wattmètre Hartmann et Braun pour 20 ampères-110 volts et un wattmètre Carpentier à miroir, construit en vue de mesurer de très faibles puissances pour des études sur des tôles de fer; l'enroulement série peut supporter 15 à 20 ampères et, sur une échelle placée à 1 m, on peut obtenir une déviation d'environ 50 mm par watt.

7. Haute tension alternative.

(Pl. X.)

Tous les essais nécessitant une haute tension (au-dessus de 7000 volts et jusqu'à 120000 volts) se font dans une salle spéciale, mitoyenne de la salle des courants alternatifs avec laquelle elle communique par une baie percée dans le mur.

Elle renferme cinq transformateurs élévateurs de tension dont quatre ont été fournis par la Société d'Éclairage électrique (*fig. 19*); le cinquième a été offert au Laboratoire par la Société d'Applications industrielles (matériel Alioth).

Les quatre transformateurs de l'Éclairage électrique sont identiques, leur puissance normale individuelle est de 5 kilovolts-ampères.

Chaque transformateur comporte deux enroulements à basse tension et deux enroulements à haute tension, que l'on peut connecter à volonté en série ou en parallèle.

Les enroulements à basse tension sont placés sur les noyaux dont ils sont isolés par des feuilles de carton; les enroulements à haute tension sont disposés sur des bobines en porcelaine à rainures pour deux des appareils et sur des tubes en micanite pour les deux autres. Les transformateurs sont disposés dans des bacs en tôle remplis de paraffine.

Lorsque les circuits basse tension et haute tension sont respectivement montés en série, le rapport de transformation est d'en-

viron 136, de telle sorte que, le transformateur étant alimenté sous 110 volts, la tension entre bornes du secondaire est de 15 000 volts.

Le réglage de la tension est obtenu d'ordinaire à l'aide de bobines de réactance intercalées dans les circuits à basse tension (*fig. 20*).

Ces bobines sont placées sur une table supportée par une estrade isolée sur laquelle se tient l'opérateur, qui agit en faisant varier l'enfoncement des noyaux.

Ceux-ci sont disposés de façon à rentrer automatiquement lorsque l'intensité du courant dépasse une certaine valeur, de telle sorte qu'on évite la fusion des coupe-circuit à chaque amorcement d'arc sur le circuit à haute tension.

Les bobines en question permettent de faire varier de 50 pour 100 la différence de potentiel aux bords des primaires des transformateurs qui peuvent être réglés individuellement.

Les circuits à basse tension de ces quatre transformateurs peuvent être connectés, soit avec la ligne alimentée par le Secteur de la rive gauche, soit avec les alternateurs du Laboratoire à l'aide d'un commutateur suisse (*fig. 20*), qui permet d'obtenir rapidement, à l'aide de fiches à vis, toutes les combinaisons utiles : montage en série, en parallèle, en biphasé et en triphasé.

Les groupements sur les circuits à haute tension se font à l'aide de connexions établies chaque fois suivant les besoins.

Lorsque tous les enroulements à haute tension sont montés en série, la différence de potentiel entre les bornes extrêmes est de 60 000 volts.

Le transformateur de la Société d'Applications industrielles ne comporte qu'un enroulement primaire et qu'un enroulement secondaire ; sa puissance est de 5 kilovolts-ampères.

Le circuit à haute tension est isolé à l'aide de bobines en porcelaine et tout l'ensemble est placé dans un bac en tôle rempli d'huile.

La tension normale d'alimentation du circuit à basse tension est de 110 volts et le rapport de transformation est égal à 545 ; dans ces conditions la différence de potentiel entre les bornes du secondaire est de 60 000 volts.

Le réglage s'effectue d'ordinaire à l'aide d'un rhéostat intercalé sur le primaire.

Ce transformateur peut être monté en série avec les quatre trans-

formateurs précédents, de sorte que le Laboratoire dispose actuellement d'une tension de 120000 volts efficaces.

Ces transformateurs sont principalement utilisés pour l'étude des diélectriques, des isolateurs et des câbles. Le Laboratoire a fait déjà un très grand nombre d'essais de ce genre.

En particulier, les isolateurs sont essayés de deux façons différentes : ou bien on les monte sur leurs ferrures dans les conditions ordinaires d'emploi, et la tension est appliquée entre les ferrures, d'une part, et le conducteur supporté par les isolateurs, de l'autre ; ou bien on renverse les isolateurs dans l'eau et la tension est appliquée entre l'eau, d'une part, et l'ensemble des ferrures montées en parallèle, de l'autre.

Dans les deux cas, on fait monter la tension soit jusqu'à ce que l'isolateur soit percé, soit jusqu'à ce qu'un arc s'amorce en le contournant ; toutes les circonstances de l'expérience sont notées de minute en minute.

Une installation pour l'essai des isolateurs sous la pluie artificielle est à l'étude.

8. Photométrie.

(Pl. XII.)

L'installation photométrique du Laboratoire comporte deux salles. Les sources lumineuses à mesurer sont, en effet, fort différentes, et il a paru préférable d'affecter l'une des salles aux comparaisons des étalons lumineux et aux essais de lampes à incandescence, et l'autre aux essais de lampes à arcs.

Les mesures les plus fréquemment demandées au Laboratoire sont les suivantes :

Intensité lumineuse horizontale et consommation d'une lampe à incandescence ;

Variation de l'intensité lumineuse avec la tension aux bornes de la lampe ;

Détermination de la répartition lumineuse d'une lampe ;

Intensité lumineuse horizontale et consommation d'une lampe à arc ;

Courbe de répartition lumineuse d'une lampe à arc ;

Flux lumineux total produit par un arc à un régime électrique donné.

Comme mesures accessoires :

Variation de l'intensité lumineuse d'une lampe à incandescence avec la durée de service ;

Détermination de la durée des charbons d'une lampe à arc ;

Étude du mécanisme de réglage d'une lampe à arc ;

Étude du mécanisme de réglage d'une lampe au moyen d'enregistreurs.

A. ÉTALONS LUMINEUX EMPLOYÉS AU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ. — On se sert, dans les expériences photométriques ordinaires, de lampes électriques comme étalons secondaires.

Ces étalons secondaires doivent être établis avec soin, et vérifiés systématiquement, à intervalles rapprochés, pour donner toute garantie aux mesures. Comme cette question est assez délicate, nous en parlerons avec quelques détails.

Conformément à la décision des Congrès de 1881 et 1882, et du Congrès de Genève de 1896, les intensités lumineuses sont exprimées en bougies décimales, la bougie décimale étant définie comme la vingtième partie de l'étalon Violle, intensité lumineuse normale d'une surface d'un centimètre carré de platine à la température de la solidification.

M. Violle ayant donné la valeur de la carcel en bougie décimale

$$1 \text{ Carcel} = 9,6 \text{ bougies décimales,}$$

le Laboratoire a adopté la valeur de ce rapport et exprime les intensités lumineuses en bougies décimales tout en employant la Carcel comme lampe-étalon.

Il était intéressant également de fixer la valeur du rapport de la Carcel et de l'Hefner, étalon secondaire très employé dans certains pays étrangers.

Des mesures directes très soignées, effectuées par M. F. Laporte, Sous-directeur du Laboratoire, ont donné

$$1 \text{ Hefner} = 0,092 \text{ Carcel,}$$

d'où, par conséquent,

$$1 \text{ Hefner} = 0,885 \text{ bougie décimale.}$$

Le Laboratoire possède deux séries d'étalons, de 5 à 17 bougies,

comparés à la Carcel. La première série ne sert qu'exceptionnellement, soit pour les mesures de précision, soit pour la vérification des étalons de la deuxième série. Ceux-ci servent pour tous les étalonnements usuels, mais indirectement, et par l'intermédiaire de lampes tares (méthode des doubles pesées); on réduit ainsi au minimum le temps de leur usage, puisque, à chaque essai, ils ne servent qu'à étalonner la lampe tare, tandis que celle-ci sert à étalonner la série de lampes à essayer. Le dossier des lampes tares s'augmente ainsi à chaque mesure, de sorte qu'elles constituent une troisième série d'étalons. Enfin, à chaque série d'essais un peu importants, le Laboratoire conserve une lampe sur six, ce qui est précieux pour les vérifications ultérieures.

Le Laboratoire possède, en outre, des lampes étudiées au P.-T. Reichsanstalt de Charlottenburg, en Hefner, et des lampes étalonnées en Candle ou *bougie anglaise*, au Lamp Testing Bureau de New-York. De cette façon, le rapport des unités photométriques avec ces laboratoires étrangers est facilement vérifiable.

B. PHOTOMÉTRIE DES LAMPES A INCANDESCENCE. — *Comparaison de deux lampes.* — Le banc photométrique employé, construit par la Société Gènevoise des instruments de précision, a une longueur de 287 cm (*fig. 24*).

Deux photomètres peuvent servir indifféremment aux différents essais; ce sont deux photomètres Lummer et Brodhun; l'un à deux plages concentriques, l'autre, plus récent, à double contraste.

Dans le premier modèle, l'une des sources éclaire une ellipse placée au centre d'un champ elliptique éclairé par l'autre : dans le cas de la comparaison de deux lampes de 16 bougies environ placées aux deux extrémités du banc (287 cm), toutes les lectures se groupent dans un intervalle maximum de 1 cm., ce qui correspond à une approximation de 1,5 pour 100.

Dans le second modèle, chaque source éclaire : 1° un champ demi-elliptique; 2° un trapèze placé au milieu du champ de l'autre source; la sensibilité obtenue par ce double contraste est beaucoup plus grande, et, dans les mêmes conditions que précédemment, toutes les lectures se groupent dans un intervalle de 3 mm, ce qui correspond à une approximation de 0,5 pour 100.

Cette approximation est plus que suffisante, puisque, à cause de la grande rapidité de variation de l'intensité lumineuse des lampes en fonction de la tension aux bornes, elle correspond à une approximation de 0, 1 à 0, 2 pour 100 dans le réglage de cette tension, en supposant même que la résistance de contact de la douille et l'orientation de la lampe restent rigoureusement les mêmes pendant les essais.

On voit donc que la difficulté pour améliorer la précision des mesures photométriques réside surtout dans le réglage électrique des deux lampes à comparer.

Ce réglage s'obtient (*fig. 24*) au moyen de deux rhéostats à variation continue intercalés dans le circuit de la lampe à essayer et dans celui de l'étalon. La résistance peut varier de 1 à 50 ohms, et le fil supporte, sans chauffer d'une façon dangereuse, un courant de 2 ampères.

Quatre mesures sont nécessaires dans cette comparaison de deux lampes électriques : différence de potentiel aux bornes des deux douilles; intensité du courant traversant chaque lampe. Un même galvanomètre Deprez-d'Arsonval, moyennant un montage spécial, permet de faire facilement et promptement toutes ces lectures. Ce montage est le suivant :

Un premier commutateur bipolaire à mercure permet, en changeant à la fois la résistance en série et le shunt du galvanomètre, de faire changer sa sensibilité : dans un cas, par exemple, il donne sur l'échelle 1 mm par volt, dans un autre, 1 mm par centième de volt; dans le premier cas, il sert directement de voltmètre pour les tensions usuelles comprises entre 70 et 150 volts; dans le second, mis en dérivation sur des résistances de 1 ohm, il sert d'ampèremètre et donne 1 mm par centième d'ampère traversant ces résistances.

Deux autres commutateurs bipolaires permettent d'appliquer successivement l'appareil ainsi préparé, soit aux bornes de chacune des deux lampes, soit aux bornes des deux résistances de 1 ohm en série sur le circuit de chacune des deux lampes. On a ainsi très rapidement les quatre quantités énumérées plus haut.

Un observateur, qui a sous la main les deux rhéostats continus et les trois commutateurs, est uniquement occupé au réglage et

aux mesures électriques, tandis qu'un autre observateur est uniquement occupé aux mesures photométriques.

On doit apporter une attention particulière aux douilles des lampes en essai, qui sont souvent la cause de résistances accidentelles assez importantes pour influencer notablement l'intensité lumineuse. Les lampes étalons portent deux fils de laiton soudés qui prennent contact en plongeant dans deux godets, contenant du mercure, creusés dans un bloc d'ébonite. Les fils de la ligne sont fixés à deux bornes dont les tiges communiquent aussi avec le mercure. Le contact, dans ces conditions, s'établit toujours de la même façon et ne donne pas lieu aux erreurs signalées plus haut.

Les lampes à essayer sont adaptées à une douille à vis ou à baïonnette, de fabrication très soignée, facile à entretenir, et dont les contacts soudés trempent également dans du mercure.

En général, l'intensité lumineuse des lampes est mesurée dans une seule direction. La lampe est placée verticalement, le culot en bas. On la fait tourner autour de son axe jusqu'à ce que la ligne qui joint les deux extrémités du filament soit perpendiculaire à l'axe du photomètre. Cette position correspond à peu près à l'intensité horizontale maxima. Le côté de la lampe tourné vers le photomètre est repéré avec soin au moyen d'un trait tracé sur le culot de la lampe.

L'orientation des lampes qui servent d'étalon est obtenue, d'une façon précise, de la manière suivante :

L'éclairement produit par une lampe à incandescence sur un plan parallèle à son axe n'est pas régulier principalement dans la direction déterminée par les racines du filament. On aperçoit, au contraire, par suite de réflexions sur l'ampoule, des lignes brillantes ou obscures qui peuvent être facilement repérées sur une règle placée à poste fixe sur le mur.

En ramenant ces traces lumineuses sur les mêmes divisions de la règle, on est assuré de retrouver la même orientation de la lampe étalon dans toutes les mesures.

Jusqu'à présent, la valeur marchande d'une lampe à incandescence a été prise par rapport à l'intensité lumineuse maxima dans un plan perpendiculaire à l'axe de la lampe. C'est d'ailleurs l'in-

tensité lumineuse maxima des lampes ayant la forme ordinaire. La consommation spécifique est rapportée à cette intensité maxima.

Les formes variées des lampes à incandescence et des filaments rendent ce procédé de plus en plus insuffisant, la courbe de répartition lumineuse des lampes à incandescence étant très différente.

Il est donc fort intéressant, au point de vue de la comparaison des lampes à incandescence, de leur économie relative et de leur emploi le plus avantageux, de connaître leur répartition lumineuse et leur flux total.

Cette étude se fait de la façon suivante :

Répartition lumineuse des lampes à incandescence. — La lampe étudiée est montée dans une douille spéciale portée par un support réglable qui peut tourner autour de deux axes rectangulaires.

La lampe est placée de manière que son centre se trouve au point d'intersection des deux axes de rotation, et le support est réglé de manière que ce même point soit également sur l'axe du banc photométrique. Dans ces conditions, l'axe de rotation est horizontal, et l'autre axe décrit, par conséquent, un plan vertical qui doit être orienté de manière à contenir l'axe du photomètre.

On voit facilement que, par des rotations systématiques autour de ces deux axes, on peut mesurer l'intensité lumineuse de la lampe à incandescence dans toutes les directions. Il est donc facile, suivant les cas, de déterminer la courbe de répartition lumineuse horizontale de la lampe ou la courbe de répartition lumineuse dans un plan vertical, ou, par toute une série de mesures, de calculer le flux lumineux total de la lampe.

Essais de durée des lampes à incandescence. — Les lampes étalonnées neuves sont mises en service sous une tension bien constante, et l'intensité lumineuse est mesurée périodiquement. On a pu constater ainsi que, si des lampes d'un même lot de fabrication se comportent, en général, d'une façon à peu près analogue, les résultats obtenus sont extrêmement variés et impossibles à prévoir lorsqu'on passe d'une fabrication à une autre.

Les exemples suivants sont particulièrement instructifs à cet égard :

	Intensité en bougies décimales.	Puissance en watts.	$\frac{W}{B}$	
1°.....	13,5	46,6	3,45	lampe neuve
	15,75	48,3	3,07	après 24 heures
	16	48,8	3,05	après 50 heures
	13	47,8	3,67	après 250 heures
2°.....	9,7	33,6	3,47	lampe neuve
	10	33,6	3,36	après 24 heures
	9,85	33,6	3,42	après 50 heures
	9,5	33,2	3,50	après 250 heures
3°.....	33	100	3,03	lampe neuve
	22,5	100	4,44	après 500 heures

C. PHOTOMÉTRIE DES LAMPES A ARC. — Une salle spéciale de grandes dimensions est affectée à l'étude photométrique des arcs et des sources lumineuses de forte intensité ⁽¹⁾.

Cette salle est desservie par les lignes suivantes :

1° Deux lignes de 3 mm² destinées à l'alimentation des lampes étalons ;

2° Deux lignes de 25 mm² pouvant alimenter des arcs de 30 ampères soit en courant continu, soit en courant alternatif à différentes fréquences pris sur les machines du laboratoire ;

3° Une ligne de 20 mm² sur le Secteur alternatif de la rive gauche (fréquence 42).

Les murs de la salle sont peints en noir mat pour éviter la lumière diffuse.

L'aération est obtenue au moyen de trois larges tuyaux qui évacuent l'air chaud pris dans le voisinage du plafond en dehors de la salle.

a. *Banc photométrique.* — Un banc photométrique de 3 m avec règle métallique graduée en millimètres est installé dans l'axe de la pièce.

Le photomètre employé est un photomètre Lummer et Brodhun, décrit plus haut ; mais ici, ce photomètre est placé à poste fixe à l'une des extrémités du banc, et c'est la source étalon (lampe à incandescence) qui est mobile. Cette lampe, montée sur une douille verticale, est portée par un chariot qui peut se déplacer tout le long

(¹) Cette salle est en voie de réinstallation, sans modification essentielle, dans les nouveaux locaux acquis par la Société ; ses dimensions sont : longueur 16 m, largeur 4,5 m, hauteur 4 m.

du banc. Le guidage du mouvement est assuré par des roues à gorge et l'entraînement est obtenu au moyen d'une chaîne sans fin fixée au chariot et que l'observateur fait mouvoir.

Un système de quatre fils souples amène le courant à la lampe et permet de mesurer la différence de potentiel à ses bornes sans en empêcher le déplacement.

Ce banc est disposé dans la pièce de manière à pouvoir servir pour les mesures les plus fréquentes que nous allons passer en revue.

L'éclairement à mesurer produit sur le photomètre reste fixe et l'on établit l'équilibre photométrique en déplaçant la lampe étalon : la lecture de la distance de cette lampe au photomètre permet de calculer l'éclairement à mesurer.

b. Mesure de l'intensité lumineuse horizontale d'une lampe. — La lampe est établie sur un support approprié dans l'axe du banc photométrique à une distance du photomètre qui peut atteindre 5,50 à 6 m. On choisit cette distance suivant la valeur de l'intensité lumineuse à mesurer et l'intensité de la lampe étalon qu'on a l'intention d'employer.

L'installation sert aussi bien pour les arcs que les lampes à incandescence de forte intensité.

Le photomètre Lummer et Brodhun facilite les mesures dans le cas de deux sources lumineuses de couleurs différentes.

L'emploi de la cuve de Crova contenant une solution de chlorure de nickel et de perchlorure de fer ne paraît pas devoir être étendu. Il présente l'inconvénient de diminuer notablement la sensibilité par une absorption assez grande. Il ne semble pas en outre que la comparaison de deux sources lumineuses de teinte différente donne le même résultat en employant toutes les radiations lumineuses ou au contraire seulement les radiations $\lambda = 582\mu$.

Le photomètre à contraste facilite la comparaison de deux teintes différentes par suite de la présence dans le champ de l'appareil des deux différences de teintes qui se trouvent inversées, des trapèzes se détachant sur des fonds plus clairs. L'œil juge assez bien les deux contrastes pour les amener à l'égalité parce qu'ils sont visibles tous les deux en même temps et que le déplacement du photomètre les fait varier en sens inverse.

Ces mesures en lumière hétérochrome ne peuvent certainement pas avoir de rigueur scientifique, mais on doit se rappeler qu'elles sont destinées à comparer des sources de lumière industrielles dans les conditions les plus voisines de leur emploi et à déterminer dans ces conditions leur rendement.

c. Détermination de la courbe de répartition lumineuse dans un plan vertical. — Les sources lumineuses industrielles n'ont pas la même intensité lumineuse dans les différentes directions, mais la plupart d'entre elles sont symétriques par rapport à un axe vertical. Il en est ainsi par exemple des lampes à arc, avec ou sans globe, à charbon ordinaire ou à flamme, pourvu que les charbons soient verticaux et placés dans le prolongement l'un de l'autre. Il en est de même pour les lampes à combustion employant un manchon incandescent.

Pour déterminer l'intensité lumineuse dans les différentes directions, on emploie la méthode indiquée la première fois par M. Blondel.

La lampe est placée dans le prolongement de l'axe photométrique. Un miroir, incliné à 45 degrés de manière à renvoyer la lumière sur le photomètre, décrit une circonférence autour de la source à étudier, dans un plan vertical perpendiculaire à l'axe photométrique.

Un écran protège le photomètre de l'éclairement direct par la lampe.

En faisant varier successivement la position du miroir, on peut mesurer l'intensité de la source dans les différentes directions. On doit, lorsque la courbe est tracée, déterminer son échelle au moyen d'une mesure directe de l'intensité de la source lumineuse qui tient compte à la fois de l'absorption du miroir et de l'inclinaison du rayon qui tombe sur l'écran du photomètre.

L'appareil (*fig. 23*), qui a été étudié et construit au Laboratoire, présentait quelques difficultés par suite des dimensions assez grandes des lampes à essayer. Les globes employés atteignent souvent 40 à 45 cm de diamètre et le miroir qui doit les réfléchir en entier a un poids qui n'est pas négligeable.

Ce miroir est fixé à un cercle de 2 m environ de diamètre qui roule au moyen de galets à gorge sur un second cercle fixe en fer rond maintenu lui-même par un cadre en madriers.

L'appareil est double et comporte deux miroirs qui sont placés,

pour l'essai, symétriquement de part et d'autre du plan vertical passant par l'axe du photomètre. L'écran du photomètre est éclairé simultanément par les deux miroirs. La mesure donne donc automatiquement la somme, ou, en divisant par 2, la moyenne des intensités lumineuses prises simultanément dans deux azimuts à 180 degrés l'un de l'autre.

Ce procédé permet de diminuer dans une grande proportion les variations dues à la rotation de l'arc ou à son mauvais centrage et il facilite par là les mesures, les rend plus régulières et dispense d'étudier l'arc successivement dans différents plans.

Comme il a été dit plus haut, le coefficient de rendement des miroirs est mesuré à chaque expérience. La valeur moyenne trouvée est de 0,80.

La distance entre la source lumineuse et le photomètre est de 5,50 m.

L'étude d'un arc avec et sans globe permet de déterminer l'absorption. Elle est loin d'être négligeable et atteint parfois des valeurs très importantes; on trouve 30 pour 100 par exemple avec un globe opalin assez clair.

Pour les sources lumineuses de plus petite dimension, comme pour les lampes à arc petit modèle et surtout les lampes Nernst, on emploie également un miroir en porte à faux qui peut tourner autour d'un axe.

Ces mesures permettent de déterminer, soit par une intégration graphique suivant le procédé de M. Rousseau, soit par le calcul, les intensités moyennes sphériques et d'en déduire le flux lumineux émis par les différentes sources.

d. Mesure du flux lumineux au moyen du lumenmètre de M. Blondel.

— Pour étudier le flux lumineux total produit par un arc nu, sans globe, à un régime déterminé, le Laboratoire emploie le lumenmètre de M. Blondel qui a été décrit à diverses reprises.

Les charbons sont montés dans une lampe de précision, construite au Laboratoire, à réglage à la main, qui permet de maintenir constant le régime électrique de fonctionnement et de mesurer l'écart des charbons. L'arc se trouve placé au centre d'une sphère opaque et noicie intérieurement.

Deux fuseaux limités par des plans diamétraux et verticaux, faisant entre eux un angle de 18 degrés, ont été enlevés dans la paroi de la sphère : dans chacun des deux fuseaux il passera $\frac{18}{360} = \frac{1}{20}$ du flux total, soit en tout $\frac{1}{10}$ du flux émis par l'arc.

Ce flux est réfléchi par un miroir elliptique disposé dans l'appareil de manière que l'arc se trouve à l'un des foyers de l'ellipse. Les rayons réfléchis seront donc concentrés à l'autre foyer, en avant du lumenmètre, à 3 m environ. Ils forment une image sur un écran plan en opaline dépolie et dressée.

Cette tache lumineuse produit un éclaircissement sur l'écran du photomètre, éclaircissement qu'il est facile de mesurer au moyen d'une lampe étalon.

On admet comme évident que l'éclaircissement produit sur l'écran du photomètre est proportionnel au flux lumineux de l'arc. Il suffit, pour pouvoir évaluer le flux en lumens, de tarer en bloc toute l'installation en établissant dans le lumenmètre un arc dont le flux lumineux est connu par une mesure préalable au moyen de l'appareil à miroir décrit plus haut et de la détermination de la courbe de répartition par points.

La constante du lumenmètre a été mesurée à différentes reprises; elle varie légèrement par suite d'une variation dans le coefficient d'absorption du miroir elliptique ou de l'écran diffuseur d'opaline.

Les applications de cet appareil sont extrêmement nombreuses, et il nous suffira de renvoyer, pour leur étude, aux importants travaux de M. F. Laporte, sous-directeur de Laboratoire ⁽¹⁾. L'arc électrique, en effet, est un phénomène si complexe et comportant un si grand nombre de variables (qualité, section, écartement des charbons, tension, intensité et, pour le courant alternatif, forme et fréquence) qu'un appareil permettant, comme le lumenmètre, des mesures rapides et précises rend les plus grands services à tous ceux qui ont intérêt à améliorer le rendement lumineux de l'arc électrique.

e. Forme du courant dans l'arc alternatif. — Un oscillographe de M. Blondel construit par J. Carpentier permet, dans le cas d'un arc

⁽¹⁾ *Bulletin de la Société Internationale des Électriciens*. 1^{re} série, t. XVI, p. 288; 2^e série, t. I, p. 251, 360; t. IV, p. 121.

à courants alternatifs, d'examiner ou de photographier les courbes de variation de l'intensité du courant et de la tension aux bornes de l'arc pendant une période. L'étude de ces courbes si caractéristiques relevées au moment même de la mesure photométrique du flux lumineux, est utile pour préciser les conditions de fonctionnement de l'arc.

On a pu, en particulier, par des mesures relevées sur les courbes, calculer la puissance dépensée dans l'arc, par l'intégration, pendant une période, du produit des valeurs instantanées de la tension et de l'intensité du courant. On a pu constater ainsi expérimentalement que le facteur de puissance de l'arc (rapport de la puissance dépensée au produit des valeurs efficaces de l'intensité et de la tension) dépendait de la forme des courbes de variation et non d'un décalage. Ce facteur de puissance ainsi calculé est égal d'ailleurs à celui que donne l'emploi des appareils ordinaires : voltmètre, ampèremètre et wattmètre.

f. Fonctionnement des lampes à arc. — Le fonctionnement des lampes et de leur mécanisme de réglage est une étude qui est souvent demandée au Laboratoire. Elle est faite au moyen d'appareils enregistreurs Richard pour courants continus ou alternatifs.

L'un de ces appareils à 4 plumes, construit spécialement pour le Laboratoire, donne sur le même diagramme les variations simultanées de l'intensité du courant et des différences de potentiel aux bornes de 1, 2 ou 3 lampes à arc.

L'examen des tracés permet de comparer le réglage des lampes fonctionnant par 2 ou par 3 en série sur 110 volts courant continu. La durée de l'enregistrement (1 heure environ) permet de distinguer les coups brusques et passagers et les variations plus lentes de réglage.

g. Mesures photométriques en dehors du Laboratoire. — Le Laboratoire possède un photomètre système Mascart pour la mesure des éclairéments. Cet appareil, construit par Pellin, est muni d'une lampe tare. On peut, suivant le cas, employer pour cet usage, soit une lampe à incandescence électrique, soit une petite lampe Pigeon à essence minérale. L'appareil est transportable, il est monté sur

un trépied et peut être mis en service soit à l'extérieur, soit à l'intérieur.

Il permet de mesurer l'éclairement produit par un système d'éclairage donné sur un plan vertical, horizontal ou orienté d'une façon quelconque à la volonté de l'observateur. Cet essai est particulièrement intéressant afin de se rendre compte des résultats des projets d'éclairage établi au moyen des données photométriques des différentes lampes.

On peut également déterminer l'intensité lumineuse d'une lampe en mesurant à la fois l'éclairement produit et la distance de la lampe au photomètre.

L'appareil est taré au Laboratoire au moyen d'une lampe étalon d'intensité connue, placée à distance déterminée de l'écran du photomètre.

9. Essais magnétiques.

Les essais des matériaux magnétiques sont faits au Laboratoire Central d'Électricité sur des éprouvettes en forme d'anneaux à section rectangulaire. Pour les tôles, le Laboratoire demande des anneaux ayant 300 mm de diamètre extérieur, 280 mm de diamètre intérieur et une épaisseur de 30 mm. L'étude consiste généralement dans le tracé du cycle pour deux inductions différentes (généralement les inductions 4000 et 17000).

Le tracé de ces cycles se fait par la méthode connue sous le nom de *méthode d'Ewing*.

Ce procédé consiste, comme on le sait, à évaluer au balistique la variation d'induction qui se produit dans l'éprouvette lorsqu'on fait varier brusquement le champ magnétisant de sa valeur maximum à une autre valeur qui peut être positive, nulle ou négative.

Le rhéostat qui permet d'obtenir cette variation, est composé de quinze résistances en maillechort que des cavaliers plongeant dans des godets de mercure permettent de mettre successivement en court-circuit. Ces résistances, dont la section est appropriée à l'intensité du courant qui doit les traverser, ont été calculées de telle façon que les variations relatives du courant magnétisant soient maxima au voisinage du maximum de ce courant, c'est-à-dire au moment de l'opération où de grandes variations du champ magnétisant ne produisent que de faibles variations de l'aimantation du fer.

L'éprouvette porte deux enroulements induits à fil fin de 100 spires chacun.

Pour les inductions élevées, on opère avec l'un ou l'autre de ces enroulements; pour les faibles inductions, au contraire, les deux enroulements sont mis en série.

L'enroulement magnétisant qui recouvre tout l'anneau est fait avec du fil souple, ce qui rend assez facile l'opération du bobinage qui ne demande guère plus de 1 heure 30 minutes à 2 heures.

Le nombre des spirès est tel que, pour un courant de 20 ampères, la force magnétisante soit d'une centaine de gauss.

Signalons en passant que, pour la majorité des tôles essayées au Laboratoire, la force magnétisante nécessaire pour atteindre l'induction 5000 varie de 2 à 4 gauss et de 80 à 150 pour l'induction 17000.

L'évaluation du courant qui parcourt la bobine magnétisante se fait avec la plus grande précision au moyen d'un voltmètre Weston à deux sensibilités (1 volt et 0,1 volt), branché aux bornes d'une résistance à $\frac{1}{10}$ d'ohm intercalée dans le circuit et plongée dans un bain de pétrole. Des résistances, mises en série avec le voltmètre, permettent, d'une part de pousser sa sensibilité jusqu'à 3 volts et, d'autre part, de n'utiliser cet instrument que dans les régions de sa graduation où l'erreur de lecture devient négligeable.

Pour les aciers coulés, l'étude de l'hystérésis a moins d'importance.

Suivant la demande de l'intéressé, le Laboratoire détermine, soit la courbe lieu des sommets de cycles croissant en fonction du champ magnétisant, soit un seul cycle d'hystérésis, correspondant à un champ magnétisant d'environ une centaine de gauss.

La méthode employée dans ce cas est une modification de la méthode d'Ewing. Cette modification a été rendue nécessaire pour éviter les erreurs qu'amèneraient, dans ces déterminations, les phénomènes de viscosité magnétique, très intenses dans les aciers doux industriels (¹).

La forme des éprouvettes utilisées pour l'étude des aciers coulés est celle d'un anneau circulaire à section rectangulaire de 147 mm de

(¹) Voir JOUAUST, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXXIX, p. 272.

diamètre extérieur, de 127 mm de diamètre intérieur et de 30 mm de hauteur.

Le balistique qui sert à toutes ces déterminations est un balistique du type Deprez-d'Arsonval, construit par Carpentier. Après chaque opération, on vérifie son étalonnement dans les conditions d'amortissement où il a servi.

Cette vérification se fait en déchargeant aux bornes du balistique un condensateur chargé au moyen d'une force électromotrice qu'un voltmètre de précision permet de connaître exactement.

Le condensateur est un condensateur de précision en mica argenté construit par Carpentier. Sa capacité totale est de 1,1 microfarad. Pour la mesure en question, on utilise généralement une fraction de la capacité égale à 1 microfarad. Une clef de charge et de décharge permet de la charger pendant un temps très court, puis de la décharger dans le balistique.

Plusieurs autres procédés ont été utilisés pour vérifier l'étalonnement du balistique par cette méthode.

C'est ainsi qu'on a déterminé sa constante en remplaçant l'enroulement induit de l'anneau par un enroulement induit porté par un solénoïde, de telle sorte que la résistance totale du circuit restât la même et que le balistique se trouvât dans les mêmes conditions d'amortissement. Le solénoïde avait été construit de telle sorte qu'on pût calculer rigoureusement, en fonction du courant qui le parcourait, le champ magnétisant en son milieu.

La déviation obtenue en faisant varier le courant circulant dans le solénoïde permettait de déterminer la constante du galvanomètre.

Enfin, on a vérifié la capacité du condensateur en le déchargeant dans le balistique non shunté et en calculant la constante de ce galvanomètre dans ces conditions en fonction de sa constante en régime permanent, de sa période d'oscillation et de son décrement logarithmique.

A côté de cette méthode pour l'étude des fers et des aciers, le Laboratoire emploie depuis quelque temps, pour la détermination de la courbe de perméabilité, le perméamètre Picou construit par Carpentier.

Nous ne décrivons pas ici cet instrument, déjà suffisamment décrit (voir *Bulletin de la Société Internationale des Électriciens*, décembre

1902). Rappelons seulement que dans cet appareil, heureuse modification du pont magnétique d'Ewing, on a réussi à éviter la cause d'erreur due aux joints, erreur qui rendait illusoire l'emploi des autres perméamètres. Cet appareil permet même l'étude des tôles, et l'influence des joints est si bien éliminée, qu'une éprouvette de tôles peut être retirée de l'appareil, les tôles peuvent être séparées, empilées de nouveau, replacées dans l'appareil, les nouveaux résultats obtenus concordent avec ceux de la première mesure.

Cet appareil permet de construire la courbe des inductions en fonction des forces magnétisantes. La courbe ainsi obtenue est la courbe lieu des sommets des cycles croissants. Le Laboratoire a vérifié que les résultats obtenus avec cet appareil concordent bien avec ceux que l'on obtient par la méthode de l'anneau. Le Laboratoire n'utilise pas, d'ailleurs, le balistique directement gradué en flux que le constructeur livre avec cet instrument, mais se sert pour ces expériences du balistique précédemment décrit.

Le Laboratoire possède aussi les hystérésimètres de Blondel et d'Ewing et peut faire des essais avec ces appareils pour les industriels qui le désirent. Ce genre de demandes est d'ailleurs assez rare. Ces appareils, très peu précis, sont très répandus et toutes les grandes usines métallurgiques en possèdent et ne s'adressent au Laboratoire que pour la vérification des éprouvettes étalons. On sait, en effet, que l'hystérésimètre d'Ewing permet de déterminer les pertes par hystérésis alternative par comparaison avec deux échantillons étalons. L'un d'eux, constitué par des tôles donnant lieu à des pertes par hystérésis assez notables, reste bien constant, mais l'autre, constitué par de bonnes tôles, est susceptible de varier sous l'influence du phénomène connu sous le nom de *vieillessement*.

C'est ainsi que certains expérimentateurs ont pu voir les pertes par hystérésis augmenter de 15 à 20 pour 100 en quelques années pour des échantillons étalons qui, pourtant, avaient été soigneusement conservés enveloppés dans de la ouate.

Le Laboratoire a pu se mettre à l'abri de ces causes d'erreur en se constituant une échelle complète d'échantillons étalons, fréquemment comparés entre eux, ce qui permet de se rendre compte des variations qu'ils pourraient éprouver.

Les indications de l'hystérésimètre d'Ewing sont, d'ailleurs, des

indications peu précises. De plus, les déterminations faites avec cet appareil ne se rapportent qu'à l'induction 4000 et, pour calculer les pertes par hystérésis pour d'autres inductions, on est forcé de se servir de la loi empirique de Steinmetz dans laquelle on admet que les pertes par hystérésis croissent comme la puissance 1,6 de l'induction.

Cette loi a été l'objet de critiques et les nombreuses mesures faites au Laboratoire Central d'Électricité ne lui sont rien moins que favorables.

Signalons que les éprouvettes destinées à l'appareil d'Ewing doivent être soigneusement estampées : le Laboratoire possède une matrice spéciale pour cet usage.

L'hystérésimètre Blondel, qui n'utilise qu'un seul échantillon étalon, a pour but de mesurer les pertes par hystérésis tournante à l'induction 10000. L'estampage des tôles est assez délicat et, comme dans l'appareil d'Ewing, les résultats obtenus ne correspondent qu'à une seule induction; il est difficile de calculer les pertes pour une autre induction, la loi de Steinmetz étant absolument fausse dans le cas de l'hystérésis tournante. On sait, en effet, d'après des expériences de Beattie et Clinker, que les pertes par hystérésis tournante passent par un maximum dans le voisinage de l'induction 16000.

Disons que des expériences comparatives faites au Laboratoire Central d'Électricité ont montré qu'il n'y a qu'une relation éloignée entre les résultats obtenus avec cet appareil et ceux que donne la méthode balistique.

10. Essais des accumulateurs et des piles.

Une salle spéciale est destinée aux essais des accumulateurs ordinaires; elle est munie d'une paillasse en lave de Wolwick sur laquelle se font les essais; une ligne de 50 mm² de section amène le courant nécessaire aux charges.

Pour certains essais d'une importance exceptionnelle, tels que le concours d'accumulateurs organisé en 1902 par le Ministère de la Marine au sujet de la fourniture des accumulateurs destinés aux sous-marins du type Naïade, des baraquements provisoires sont érigés dans la cour du Laboratoire.

Les essais d'accumulateurs étant très fréquemment demandés, le Laboratoire se trouve très bien outillé pour ce genre d'essais; il possède, en particulier, pour les décharges, une grande quantité de rhéostats réglables appropriés à une large échelle de régimes. Signalons, en particulier, un rhéostat permettant des décharges à intensité constante de 600 ampères sous 2 volts.

Le Laboratoire a eu souvent à faire des essais d'accumulateurs d'automobiles.

On sait qu'on demande à ce genre d'accumulateurs deux qualités absolument contradictoires, la légèreté et la solidité. Pour s'assurer que l'une de ces qualités n'a pas été sacrifiée au profit de l'autre, il est de toute nécessité de faire subir aux accumulateurs de ce type des essais d'endurance, c'est-à-dire de leur faire subir un grand nombre de décharges dans les conditions de leur fonctionnement normal en suivant les variations de leur capacité.

Pour permettre d'effectuer rapidement ces essais d'endurance, le Laboratoire a réalisé un appareil grâce auquel on peut, quatre fois par période de 24 heures, charger et décharger l'accumulateur. Les décharges se font à un régime variable analogue à celui qu'aurait à subir l'accumulateur s'il était placé sur une automobile électrique.

Cet appareil, déjà présenté à la Société Internationale des Électriciens, se compose d'un certain nombre de disques de tôles clavetés sur un arbre auquel un mouvement d'horlogerie fait faire un tour en 6 heures. Sur la périphérie de ces disques; repose un double jeu de leviers pouvant prendre un mouvement de bascule autour de deux axes parallèles à l'axe de l'appareil et situés l'un au-dessus, l'autre au-dessous de cet axe.

Ce mouvement de bascule est produit par des cames portées par les disques et a pour effet de faire plonger dans des godets de mercure des cavaliers en cuivre portés par les extrémités des leviers opposées à celles qui reposent sur les disques, ou, au contraire, de faire sortir ces cavaliers des godets. C'est ce mouvement des cavaliers qui ferme ou rompt brusquement ⁽¹⁾ les différents circuits de décharge.

Pour étudier la résistance mécanique des éléments, le Laboratoire possède un appareil trépidateur composé d'une plate-forme montée

(1) *Bulletin de la Société Internationale des Électriciens*, 2^e série, t. III, p. 428.

sur ressorts, à laquelle une came, mue par un moteur électrique, peut faire subir une série de chocs périodiques; on peut régler aussi bien l'étendue que la fréquence de ces chocs.

Quant aux essais de piles, ils consistent à laisser les éléments continuellement en service sur une résistance fixe (5 ou 10 ohms) et à relever un certain nombre de fois par jour la tension aux bornes.

Le montage consiste en un certain nombre de bobines de 5 et 10 ohms très exactement calibrées et en un commutateur qui permet d'amener successivement, aux bornes de chacune des piles en essai, le voltmètre qui sert à mesurer leur différence de potentiel.

11. Essais de machines.

Nous ne pouvons songer à étudier ici les méthodes employées par le Laboratoire dans les cas très variés qui peuvent se présenter, ni à énumérer le matériel d'instruments divers et d'appareils de mesure qui servent à ces essais. Nous avons décrit plus haut les principales machines dont le Laboratoire dispose, mais nous devons signaler encore que très fréquemment le personnel du Laboratoire est appelé à l'extérieur, en province où à l'étranger, pour des essais de réception de matériel électrique ou des vérifications de cahiers des charges; le matériel portatif très complet dont il dispose est toujours vérifié avant le départ et après le retour, ce qui présente de précieuses garanties d'exactitude pour les résultats obtenus.

12. Essais divers.

Enfin, en dehors des essais courants qui viennent d'être décrits, le Laboratoire est appelé très souvent à entreprendre des essais qui ne rentrent dans aucune de ces catégories; nous citerons, à titre d'exemples : des essais d'appareillage, de moulures ignifugées, de tubes isolants, de gants protecteurs, de coton pour tresses, de disjoncteurs, de fusibles, etc., et, comme essais faits au dehors, des recherches de défauts sur d'importants réseaux de câbles armés. Le Laboratoire est toujours prêt à entreprendre des recherches dont l'objet est bien défini et qui, finalement, peuvent aboutir à un résultat numérique, ou tout au moins indépendant de toute question d'appréciation personnelle.

III. — L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

CONSEIL DE PERFECTIONNEMENT.

PRÉSIDENT.

MM.

Mascart (E.), Membre de l'Institut, Directeur du Bureau central météorologique de France.

VICE-PRÉSIDENT.

Buquet (P.), Directeur de l'École centrale des Arts et Manufactures.

SECRÉTAIRE.

Sartiaux (Eug.), Ingénieur chef des Services électriques au Chemin de fer du Nord.

MEMBRES.

1° Membres délégués de la Société Internationale des Électriciens en 1904-1905.

Pollard, Président de la Société Internationale des Électriciens.

Bouty, Président de la Société Internationale des Électriciens pour 1905-1906.

Grosselin, Secrétaire général de la Société Internationale des Électriciens.

Potier, Membre de l'Institut.

Joubert (J.), Inspecteur général de l'Instruction publique.

2° Membres fondateurs.

Bischoffsheim, Membre de l'Institut.

Bonaparte (Prince Roland).

Carpentier (J.).

Chambre de Commerce de Paris.

Christophle.

Compagnie continentale Edison.

Compagnie française Thomson-Houston.

Ménier (H.).

Postel-Vinay.

2° *Membres fondateurs* (suite)

MM.

Rothschild (baron **Edmond de**).

Santerre.

Sautter, Harlé et C^{ie}.

Société Gramme.

Ville de Paris.

3° *Conférenciers*.

Belugou, Ingénieur principal des Télégraphes.

Bochet, Ingénieur en chef de la *Maison Sautter, Harlé et C^{ie}*.

Boucherot, Ingénieur conseil.

Brunswick (E.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur principal chargé du Service technique de la *Maison Breguet*.

Courtois (Gabriel), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur des constructions électriques à la Société Industrielle des Téléphones.

Hillairet, Ingénieur-constructeur.

Loppé, Ingénieur des Arts et Manufactures.

Picou, Ingénieur des Arts et Manufactures.

Sartiaux (Eug.), Ingénieur chef des Services électriques au *Chemin de fer du Nord*.

Touanne (de la), Ingénieur des Télégraphes.

4° *Directeur de l'École*.

Janet (P.), Professeur à l'Université de Paris, Directeur du Laboratoire Central et de l'École Supérieure d'Électricité.

PERSONNEL.

DIRECTEUR.

Janet (P.), Professeur à l'Université de Paris.

SOUS-DIRECTEUR.

Chaumat (H.), Agrégé des Sciences physiques.

CHEF DES TRAVAUX.

Bourguignon (P.), Ingénieur des Arts et Manufactures, diplômé de l'École Supérieure d'Électricité.

PRÉPARATEURS.

Iliovici (A.-D.), Licencié ès Sciences, diplômé de l'École Supérieure d'Électricité.

Roy (L.-M.), Licencié ès Sciences, diplômé de l'École Supérieure d'Électricité.

CHEF D'ATELIER.

Sauvage (C.), ancien Mécanicien de la Marine, diplômé de l'École Supérieure d'Électricité.

MATÉRIEL MOTEUR, GÉNÉRATEUR ET TRANSFORMATEUR (1).

Dynamos et moteurs à courant continu.....	52 kw
Machines polymorphiques.....	23 —
Alternateurs et moteurs à courant alternatif.....	38 —
Transformateurs.....	36 —
Accumulateurs (pour une décharge en 7 heures).....	7 —
	156 kw

(1) Voir aussi p. 548 le matériel du Laboratoire central.

I. — ORGANISATION DE L'ENSEIGNEMENT.

L'enseignement de l'École supérieure d'Électricité est essentiellement pratique et a pour but la formation d'ingénieurs électriciens, c'est-à-dire d'hommes ayant les connaissances théoriques, le sens pratique et l'esprit critique qu'exige de plus en plus l'Industrie électrique moderne. Si le but à atteindre est ainsi parfaitement clair, les moyens à employer pour y arriver sont plus difficiles à établir, et la définition même du mot *pratique* est bien délicate à donner quand il s'agit de l'appliquer à l'enseignement; au sens strict du mot, il faudrait essayer d'enseigner aux élèves tout ce qu'ils auront à exécuter plus tard (intellectuellement ou matériellement), et rien que ce qu'ils auront à exécuter plus tard; mais il semble bien que ce programme, peut-être séduisant à première vue, n'est et ne peut être qu'une utopie, parce que, le nombre des cas particuliers étant indéfini, un enseignement ne peut prétendre à les embrasser tous; il faut donc suivre un programme, peut-être plus modeste en apparence, mais plus sûr en réalité, et prendre comme règle d'enseigner aux élèves la partie essentielle de ce qu'ils auront à exécuter tout en leur mettant entre les mains un outil assez puissant pour leur permettre de ne pas être embarrassés devant les cas imprévus que leur avenir industriel leur réserve; cet outil, c'est l'enseignement général ou théorique; mais, de même que le mot *pratique*, le mot *théorique* peut avoir bien des sens différents, et il est clair, par exemple, qu'on ne l'entend pas de la même façon lorsqu'on l'applique à la théorie des électrons ou à la théorie de la machine dynamo-électrique. Nous sommes en droit, au moins provisoirement, d'écarter d'une école d'ingénieurs les théories purement spéculatives; encore faut-il se souvenir qu'elles peuvent, du jour au lendemain, être appelées à jouer un rôle important dans la pratique : les oscillations électriques et les ondes électromagnétiques nous en fournissent un exemple éclatant; toujours est-il que, le chemin ainsi déblayé, le programme de l'enseignement général comporte encore un grand degré d'arbitraire, et demande à être fixé avec discernement : on se convaincra, par l'étude attentive des

programmes qui vont suivre, que toutes les matières enseignées, soit dans les cours et conférences, soit dans les laboratoires et ateliers de l'École, satisfont bien à l'une ou à l'autre des conditions que nous nous sommes imposées : ou bien de donner à nos élèves la pratique la plus positive des méthodes industrielles qu'ils auront à appliquer du jour au lendemain dès leur entrée dans l'industrie; ou bien de leur assurer, par des exercices soigneusement choisis, la connaissance approfondie des lois de l'Électricité, le sens des méthodes expérimentales, l'appréciation des erreurs, l'évaluation des ordres de grandeur des quantités usuelles.

L'enseignement de l'École comporte deux grandes branches : l'enseignement oral (cours et conférences), qui occupe toutes les matinées pendant le premier semestre, et l'enseignement pratique (laboratoire, salle des machines, atelier, stages dans les usines, etc.), qui occupe toutes les après-midi du premier semestre et les journées entières du second.

L'enseignement oral comporte deux cours réguliers, à raison de trois leçons par semaine chacun : le cours d'Électrotechnique générale et le cours de Mesures électriques; et une série de conférences à raison de six par semaine.

Ces conférences constituent un des côtés les plus intéressants de l'École : le Conseil de perfectionnement attache la plus grande importance à les confier exclusivement à des ingénieurs ayant une longue pratique industrielle, et une connaissance toute spéciale et personnelle des points qu'ils sont chargés d'enseigner; on verra, par la liste qui va suivre, qu'il serait difficile de réunir, en un Corps enseignant, un ensemble à la fois varié et homogène de personnalités plus compétentes, et plus expérimentées du monde électrique français : la haute autorité de la Société Internationale des Électriciens, qui compte aujourd'hui plus de 1200 membres, contribue à assurer à l'École le recrutement facile de conférenciers éminents.

L'enseignement pratique comporte des exercices de laboratoire, des essais de machines, des exercices d'atelier, des visites d'usines, des stages industriels.

Pour tous les exercices de laboratoire et d'essais de machines, un principe général à l'École est de n'avoir aucune installation fixe

faite d'avance : au laboratoire, l'élève est obligé de choisir lui-même les appareils dont il a besoin, et d'en assurer le montage complet, depuis la mise en place du galvanomètre, par exemple, jusqu'au dernier fil de connexion. A la salle des machines, de même, la machine à essayer est confiée sans aucun accessoire et complètement inerte au groupe qui doit l'étudier, et celui-ci doit choisir les rhéostats et les appareils de mesure convenables, les installer suivant les nécessités de la place dont il dispose, etc. : nous évitons ainsi les inconvénients des installations toutes faites, peut-être plus plaisantes à l'œil du visiteur incompetent, mais qui trop souvent bornent le rôle de l'élève à lire la position d'une aiguille sur le cadran d'un appareil auquel il ne peut même pas toucher : notre manière de faire entraîne peut-être quelques inconvénients ; chaque année quelques appareils sont mis hors service par des mains encore inexpérimentées ; mais nous estimons que nos élèves, en sortant de cette difficile école, sont plus aptes à se tirer d'affaire dans les embarras des installations volantes, les plus fréquents qu'ils rencontreront plus tard.

Aussi bien au laboratoire qu'à la salle des machines, les mesures donnent lieu à des rapports rédigés par les élèves et remis chaque semaine aux chefs de travaux compétents.

Ces rapports contiennent :

- 1° En tête, un rappel des appareils ou machines dont on s'est servi, avec numéro d'ordre et nom du constructeur ;
- 2° Le principe de la méthode ;
- 3° Les résultats numériques ;
- 4° La discussion de la méthode et des résultats. On donne beaucoup d'importance à cette dernière partie, à l'évaluation de la précision qu'on peut attendre de la méthode, telle qu'elle a été employée, et aux remarques personnelles faites par l'élève.

Les expériences de laboratoire se partagent en deux parties : les expériences de précision, qui ont pour but de former l'esprit de l'élève, de l'habituer à se rendre compte de la valeur d'une méthode, de sa précision ; et les expériences industrielles : étalonnage des appareils, essais de fers, etc., pour lesquelles on indique aux élèves les méthodes les plus usuelles de la pratique industrielle.

De chaque expérience, l'élève doit tirer une conclusion, un renseignement, un nombre; pour chaque cas on lui donne plusieurs méthodes pour qu'il puisse se rendre compte de la valeur de chacune et des cas où l'une est plus avantageuse que les autres.

On habitue les élèves, d'une part, à appliquer les méthodes avec la plus grande précision et, d'autre part, à pouvoir se tirer d'affaire dans quelques circonstances qu'ils se trouvent. L'ingénieur électricien, peut-être plus que tout autre, doit faire un appareil de mesure de tout ce qu'il trouve; en changeant le mot bien connu de Franklin, il doit pouvoir mesurer l'intensité d'un courant avec un thermomètre et une température avec un ampèremètre. Il faut qu'il ne soit jamais pris au dépourvu, qu'il triomphe toujours des difficultés. C'est cet esprit qu'on tâche de développer chez les élèves de l'École.

Les exercices d'atelier ont donné lieu à des discussions très approfondies au sein du Conseil de perfectionnement; les exercices de lime et de tour qui en constituaient, il y a quelques années, la partie principale, ont été réduits sans être supprimés complètement; les exercices d'ordre purement électrique ont été, au contraire, de plus en plus développés : on en trouvera plus loin le programme.

Outre ces exercices intérieurs de l'École, nos élèves font chaque année des stages dans toutes les grandes usines électriques de Paris, où ils reçoivent de la part des Directeurs le plus bienveillant accueil : nous sommes heureux de saisir ici l'occasion de les en remercier publiquement. Enfin, une excursion électrotechnique en pays étranger, à laquelle, malheureusement, ne peuvent prendre part que les plus fortunés de nos élèves, complète cet enseignement pratique; en général, par un acte de bonne camaraderie, ceux-ci, dans une ou deux conférences tout intimes, font profiter leurs camarades de ce qu'ils ont pu voir et observer.

Les élèves exécutent dans le courant de l'année cinq projets dont voici la nomenclature :

- 1° Appareillage ;
- 2° Installation et distribution de force motrice et d'éclairage ;
- 3° Calcul d'une dynamo à courant continu ;
- 4° Calcul d'une machine ou appareil à courant alternatif ;
- 5° Construction.

Ils subissent, de plus, des interrogations dans le cours de l'année, des examens généraux de fin d'année, et enfin reçoivent des notes pour tous les exercices pratiques énumérés plus haut. Le diplôme d'ingénieur-électricien (ingénieur électricien E. S. E.) est donné à tout élève qui atteint la moyenne 14 pour toutes ces notes affectées de certains coefficients.

Les anciens Élèves de l'École, déjà fort nombreux comme on le verra par la liste qui termine ce travail, ont fondé une association, aujourd'hui florissante. Cette *association amicale des Ingénieurs sortis de l'École supérieure d'Électricité*, actuellement présidée par M. G. Courtois, directeur de l'usine des constructions électriques à la Société industrielle des Téléphones, maintient les liens de camaraderie qui se sont formés à l'École et centralise toutes les demandes et offres d'emploi dans l'Industrie électrique.

Disons, pour terminer, que l'assiduité la plus complète est exigée des élèves pour tous les exercices de l'École, mais que, pour obtenir cette assiduité de jeunes hommes qui doivent considérer que l'École est déjà le commencement de leur carrière industrielle, nous n'avons jamais recours à une discipline étroite et tracassière, mais que nous faisons appel au sentiment du devoir et au principe que l'exactitude et la régularité sont les premières qualités de l'ingénieur.

II. PROGRAMME DE L'ENSEIGNEMENT.

COURS ⁽¹⁾.

Électrotechnique générale 70 leçons
M. Paul Janet, Directeur de l'École.

Mesures électriques 70 leçons
M. H. Chaumat, Sous-Directeur de l'École.

CONFÉRENCES.

Calcul et propriétés des dynamos à courant continu . . . 7 leçons
M. R.-V. Picou, Ingénieur des Arts et Manufactures.

Expression de la puissance d'une machine en fonction de ses éléments principaux.
— Exemple de calcul d'une machine dynamo-électrique. — Dimensions de l'induit; nombre et dimensions des rainures; schéma du bobinage; collecteur; entrefer; pièces polaires; réluctance d'entrefer; répartition du champ sous la pièce polaire. — Forme générale de l'inducteur; bobinage inducteur. — Démagnétisation; torsion du champ; étincelles aux balais. — Échauffement. — Rendement. — Tableau des données de construction; poids de matière; séries de machines. — Caractéristiques; applications.

Calcul et propriétés des machines et appareils à courants alternatifs 17 leçons
M. P. Boucherot, Ingénieur Conseil.

Généralités. — Appareils de self-induction. — Transformateurs. — Alternateurs.
— Moteurs asynchrones. — Divers.

Construction des machines à courant continu et à courants alternatifs 13 leçons

M. Brunswick, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur principal chargé du Service technique de la maison Breguet.

Principaux éléments des machines. — Enroulements des induits. — Association des conducteurs en tension; principes. — Éléments constitutifs des bobinages. — Principaux types d'enroulements. — Des divers pas à considérer. — Relations entre les divers pas. — Notations et formules caractéristiques des enroulements. — Classification des enroulements. — Réalisation des bobinages. — Enroulement Gramme. — Enroulement en tambour. — Enroulements gabariés. — Finissage des éléments de bobinage. — Armatures. — Tôlerie. — Croisil-

(¹) Nous ne donnons pas ici les programmes détaillés de ces cours qui comportent toutes les matières, aujourd'hui classiques, de l'Électricité industrielle. Ces cours ont été, d'ailleurs, ou vont être publiés.

lons. — Isolation. — Frettages. — Échauffement. — Collecteurs. — Dimensionnement; construction; échauffement; résistance au contact. — Arbres. — Paliers. — Bâtis. — Socles. — Inducteurs. — Construction; bobinage; accouplements; échauffement. — Alternateurs et moteurs. — Construction spéciale des armatures. — Isolation. — Bobinages. — Construction particulière des inducteurs. — Étude de la partie mécanique : socles; bâtis. — Transformateurs; assemblage des noyaux. — Montage général. — Bobinages.

Essais de machines 23 leçons

M. Loppé, Ingénieur des Arts et Manufactures.

But et organisation des essais.

Essais mécaniques : Mesure de la vitesse, des efforts et des couples; relevé des diagrammes. — Dynamomètres de transmission. — Freins mécaniques et électriques. — Mesure indirecte des efforts, des couples et de la puissance. — Essais de régularité de marche des moteurs à cylindres, calcul des volants.

Essais électriques : Installations pour les essais. — Méthodes générales d'essai. Règlements divers relatifs aux essais. — Essais des dynamos à courant continu, des alternateurs, des moteurs à courant alternatif, des commutatrices et des transformateurs.

Essais des groupes électrogènes : Détermination du rendement et de la consommation des moteurs à vapeur et à gaz. — Mesure de la puissance hydraulique.

Accumulateurs..... 9 leçons

M. Loppé, Ingénieur des Arts et Manufactures.

Définitions et classification.

L'accumulateur au plomb : Théories diverses. — Phénomènes à la charge et à la décharge. — Construction et formation des éléments. — Montage des batteries. — Charge et décharge en pratique. — Entretien. — Prix de revient. — Accumulateurs divers.

Emploi des accumulateurs : Appareils accessoires. — Essais.

Appareillage 10 leçons

M. Courtois, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur diplômé de l'École supérieure d'Électricité, Directeur des constructions électriques à la Société industrielle des téléphones.

Considérations préliminaires de Mécanique appliquée. — Interrupteurs. — Commutateurs-inverseurs. — Rhéostats, résistances liquides. — Réducteurs. — Contrôleurs. — Coupe-circuits. — Disjoncteurs immédiats ou différés. — Parafoudres.

Canalisations souterraines 3 leçons

M. Grosselin, Ingénieur civil des Mines, Secrétaire général de la *Société Internationale des électriciens*.

Constitution des canalisations souterraines. — Fabrication des câbles isolés au caoutchouc et isolés à la cellulose. — Pose des câbles. — Boîtes de raccords

des câbles à la cellulose. — Phénomènes observés dans le fonctionnement des câbles. — Rôles divers de la capacité. — Surtensions. — Oscillations en régime forcé et en régime libre. — Exemples relevés dans la pratique. — Applications. — Rappel des méthodes d'essai. — Recherche de défauts. — Garanties et cahiers des charges.

Canalisations aériennes..... 1 leçon

M. R.-V. Picou.

Installations électriques..... 7 leçons

M. Bochet, Ingénieur en chef de la maison Sautter-Harlé et C^{ie}.

Généralités sur les installations électriques. — Production du courant. — Choix des moteurs. — Régulation. — Moteurs hydrauliques. — Moteurs à vapeur. — Chaudières. — Machines à piston. — Moteurs à grande vitesse. — Turbines à vapeur. — Condensation. — Aéro-condenseurs. — Tuyauterie. — Moteurs à gaz de ville. — Moteurs à gaz pauvre. — Moteurs à pétrole. — Moteurs Diesel. — Transmissions. — Accouplements rigides et élastiques. — Courroies. — Câbles. — Transmissions intermédiaires. — Organes mécaniques des dynamos. — Paliers. — Tendeurs. — Porte-balais. — Isolation des dynamos. — Précautions pour le cas des machines à haute tension. — Choix des types de machines pour les petites installations, installations moyennes, applications à bord des navires, stations centrales. — Groupement des machines électriques. — Groupement en parallèle des dynamos à courant continu. — Accumulateurs. — Survolteurs. — Groupement des alternateurs. — Tableaux de connexions des machines électriques. — Tableaux de distribution. — Appareils de couplage. — Interrupteurs à enclenchement électromagnétique. — Modes de distribution. — Canalisations. — Calcul des canalisations et minimum de poids de cuivre. — Calculs pratiques avec densité constante. — Échauffement des conducteurs. — Montage des canalisations. — Isolation des appareils de sécurité. — Coupe-circuits. — Parafoudres. — Appareils d'utilisation. — Éclairage, arc, incandescence. — Transmission de puissance. — Appareils de manœuvre des électromoteurs à courant continu et à courant alternatif. — Relais. — Moteurs à vitesse variable. — Sommaire de la législation et des règlements en vigueur. — Projets d'installation d'éclairage. — Devis.

Applications mécaniques de l'électricité; traction électrique..... 25 leçons

M. Hillairet, Ingénieur-constructeur.

Applications mécaniques : Propriétés générales des dynamos à courant continu (génératrices, réceptrices, survolteurs). — Distributions en série; leurs applications. — Appareils de mise en marche; freinage électrique. — Accouplements des moteurs électriques avec des moteurs non électriques sur la même transmission. — Electro-aimants. — Rendement vrai des transmissions dans les ateliers.

Traction électrique : Disposition des moteurs sur les véhicules. — Commande par engrenages; par chaînes; commande directe. — Moteurs employés dans la trac-

tion. — Construction des trains de roue et caisse. — Freinage. — Mise en marche. — Commande simultanée de plusieurs voitures automotrices intercalées dans un même train. — Mise en marche et freinage des moteurs à courant alternatif. — Prises de courant. — Joints des rails. — Électrolyse dans le voisinage des voies. — Autres désordres au voisinage des voies. — Projet de traction électrique. — Traction par accumulateurs.

Éclairage électrique 5 leçons

M. F. Laporte, ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, Sous-Directeur du Laboratoire central d'Électricité.

Lampes à incandescence : Fabrication ; photométrie ; régime ; emploi. — Lampe Nernst ; lampe à osmium.

Arc électrique : Étude physique ; photométrie ; charbons ; arc continu, alternatif, en vase clos.

Lampes à arc : Stabilité, réglage.

Emploi des arcs : Éclairage public et privé.

Électrochimie 9 leçons

M. H. Chaumat, Sous-Directeur de l'École.

Électrolyse aqueuse et ignée : Généralités. — Lois. — Clapets électrolytiques. — Électrolyse de l'eau, fabrication industrielle de H et de O (procédés Renard ; procédé d'Oerlikon). — Chlorates alcalins. — Persulfates. — Blanchiment électrolytique. — Hydrosulfites (cuve à indigo). — Soude caustique et chlore. — Les revêtements métalliques (nickelage, argenture, dorure, platinage, cuivrage). — Raffinage du cuivre. — Fabrication du cuivre ouvré par l'électrolyse. — Industrie de l'aluminium. — Aluminothermie.

Action de l'effluve et de l'étincelle : Ozone. — Applications (désinfection, blanchiment, son emploi dans la fabrication des parfums).

Le four électrique : Étude critique du four comme moyen de provoquer des réactions à haute température. Exemples : Fabrication des sels de baryte ; fabrication du Ph et du sulfure de carbone. — Fabrication des corps durs (carborundum, borure de carbone, corindon, siloxicon). — Fabrication du graphite. — L'emploi du graphite dans le four de l'électrolyse ignée. — Les carbures alcalino-terreux. — Carbure de Ca. — Acétylène. — Carbure de baryum et cyanures. — Siliciures alcalino-terreux. — Nouvelle fabrication industrielle de l'hydrogène. — Application du siliciure de Ba à la teinture à l'indigo.

Électrosidéurgie.

Applications de l'électricité aux chemins de fer 3 leçons

M. Eug. Sartiaux, Ingénieur chef du Service électrique aux chemins de fer du Nord.

Télégraphie 5 leçons

M. Bélugou, Ingénieur principal des Télégraphes.

La télégraphie électrique. — Court historique des premiers essais

Formation des signaux : classification des principaux systèmes.

Propagation du courant : Influence de la capacité et de la self-induction des lignes et des appareils.

Appareil Morse. — Sounder. — Appareil à cadran.

Relais : leurs avantages, leurs emplois, leur fonctionnement.

Systèmes de transmission duplex.

Appareil Hughes : Description générale. — Communications électriques.

Appareil Wheatstone : Description générale. — Avantages et inconvénients.

Appareil Pollak et Virag.

Appareil Baudot : Description sommaire des divers organes. — Fonctionnement.

Appareils Baudot-Dubreuil et Baudot-Picard.

Appareil Rowland : Principe et description sommaire.

Multiplex Mercadier.

Comparaison des divers systèmes au point de vue du rendement par ligne et opérateur. — Notions générales sur la construction des lignes télégraphiques.

Lignes aériennes : Divers modes de préservation par rapport aux conducteurs d'énergie. — Croisements pour obtenir l'anti-induction téléphonique.

Lignes souterraines : Sous gutta. — Sous papier. — Aperçu sur la constitution du réseau souterrain de Paris.

Téléphonie..... 4 leçons

M. de la Touanne.

Téléphones : Constitution essentielle, indication de théories, diverses catégories.

Microphones : Principe, classification. — Principaux genres de microphones. — Parties essentielles d'un poste d'abonné. — Accessoires du poste d'abonné. — Bureaux centraux ; idée générale. — Systèmes à répétitions de manœuvres. — Idée générale des multiples ; multiple série. — Multiple dérivation. — Batterie centrale. — Accessoires de bureaux centraux. — Canalisations souterraines, artères aériennes. — Télégraphie et téléphonie simultanées.

CONFÉRENCES COMPLÉMENTAIRES (1).

Radium et radio-activité de la matière..... 2 leçons

M. Debierne.

Télégraphie sans fil..... 3 leçons

M. le Capitaine Ferrié.

Moteurs monophasés ; propagation des courants alternatifs..... 2 leçons

M. Maurice Leblanc.

(1) Ces conférences ont été faites en 1903-1904 ; elles peuvent changer d'une année à l'autre.

Installations hydro-électriques 3 leçons
M. Routin.

Rayons cathodiques; rayons X 2 leçons
M. Villard.

Travaux de Laboratoire.

I. EXERCICES PRÉLIMINAIRES. — 1° Construction d'une pile Leclanché. Montage de trois piles avec commutateur permettant de mettre en service un, deux ou trois éléments.

2° Recherche systématique du spot d'un galvanomètre.

3° Détermination de la sensibilité, de la proportionnalité et de la symétrie d'un galvanomètre.

II. MESURES DE RÉISTANCES : 1° *Mesures de résistances par le pont de Wheatstone*. — Vérification du pont. Emploi du pont pour la mesure de résistances moyennes. Réalisation d'un pont de toutes pièces. Mesures de résistances d'appareils de mesure : voltmètres, fil fin de wattmètre, etc. Calcul des consommations de ces appareils. Vérifications des lois de composition des résistances dans des circuits en série ou dérivés. Mesure approximative d'une résistivité.

2° *Emploi du pont à fil*. — Construction d'une bobine de résistance de 1 ou de 10 ohms et détermination de sa correction par rapport à l'étalon. Calibrage du fil du pont à fil.

3° *Mesure de la résistance d'un galvanomètre* par la méthode de Kelvin et la méthode du shunt.

4° *Résistance intérieure d'une pile* (méthode de Mance).

5° *Résistance intérieure d'une pile* (méthode de Munro). Étude de la polarisation d'une pile.

6° *Mesures de résistances faibles* par le pont double. — Vérification d'un pont double Carpentier. Pont double monté de toutes pièces. Mesures de résistivités. Mesures de résistance des ampèremètres et des shunts des ampèremètres. Calcul de la consommation d'un ampèremètre thermique.

7° *Mesures de résistances faibles* par la méthode d'opposition.

8° *Mesures de résistances faibles* par le galvanomètre différentiel. Vérification du galvanomètre.

9° *Mesures de résistances faibles* par la méthode de Hockin et Mathiessen.

10° *Mesures de résistances d'isolement par le galvanomètre Kelvin.* — Étude de la variation de la résistance d'isolement avec la différence de potentiel et la durée de l'électrisation. Influence de l'état hygrométrique de la salle d'expériences.

11° *Méthode de la perte de charge.*

12° *Méthode d'accumulation.* — Étude comparative des méthodes 10, 11 et 12.

13° *Mesure de la résistance d'isolement d'une installation* par la méthode du pont ou par l'emploi d'un ohmmètre.

14° *Mesure de l'isolement d'une batterie d'accumulateurs.*

15° *Recherches des défauts dans une ligne* par la méthode de la boucle et autres méthodes.

16° *Mesure de résistances liquides.*

III. MESURES DE FORCES ÉLECTROMOTRICES. — 1° Construction d'un élément Latimer-Clark suivant les prescriptions officielles.

2° Comparaison des forces électromotrices par la méthode de Kempe.

3° Comparaison des forces électromotrices par la méthode de Bouty. Montage d'un potentiomètre.

4° Comparaison des forces électromotrices au balistique shunté ou non shunté.

5° Emploi d'un électromètre : Montage de MM. Mascart, Thomson et Joubert.

6° Étalonnage d'un voltmètre par la méthode potentiométrique.

IV. MESURES D'INTENSITÉS DE COURANT. — 1° Étalonnage d'un ampèremètre par l'électrolyse.

2° Emploi des balances Kelvin.

3° Étalonnage d'un ampèremètre par la méthode potentiométrique.

4° Étalonnage d'un ampèremètre et d'un électrodynamomètre à torsion par comparaison à une balance Kelvin.

V. MESURES DE PUISSANCE ET D'ÉNERGIE. — 1° Étalonnage d'un

wattmètre en courant continu par comparaison à un voltmètre et un ampèremètre.

2° Étalonnage d'un compteur.

VI. ÉTUDE COMPLÈTE D'UN BALISTIQUE. — 1° Détermination de la constante en régime permanent.

2° Détermination de la constante balistique dans les diverses conditions d'amortissement.

3° Détermination de la période d'une oscillation complète.

4° Détermination du décrément logarithmique des oscillations.

5° Détermination de la résistance critique (méthode directe et indirecte).

VII. MESURES DE CHAMPS MAGNÉTIQUES. — 1° Mesure du champ dans un entrefer par une sonde à bobine induite et un balistique.

2° Mesure du champ dans un entrefer par une sonde bismuthique. Étalonnage de la sonde.

VIII. ÉTUDE DES FERS. — 1° Tracé d'un cycle d'hystérésis. Détermination du coefficient de Steinmetz. Étude comparative de divers fers.

2° Emploi du perméamètre Picou : Tracé d'une courbe de magnétisme et d'une courbe de perméabilité. Perméamètre Hopkinson et perméamètre à arrachement.

3° Emploi des hystérésimètres de Blondel et d'Ewing.

IX. MESURES DE CAPACITÉS. — 1° Emploi du balistique shunté ou non shunté.

2° Méthode de partage de charge.

3° Méthode de Cavendish.

4° Méthodes de Sauty et de Thomson (à l'aide du pont).

X. MESURES DE COEFFICIENTS DE SELF-INDUCTION. — 1° Méthode de Lord Rayleigh.

2° Méthode de Pirani et méthodes dérivées.

3° Comparaison de deux coefficients de self-induction au pont. Emploi du sécohmmètre.

XI. MESURES RELATIVES AUX COURANTS ALTERNATIFS. — 1° Mesures de coefficients de self-induction par la méthode Joubert. Étude de la variation de la self-induction d'une bobine contenant du fer avec l'intensité du courant qui la traverse.

2° Étalonnage d'un électrodynamomètre par rapport à un ampèremètre thermique en courants continu et alternatif.

3° Vérification des lois des intensités et des différences de potentiel dans les circuits à courant alternatif. Problèmes relatifs aux circuits contenant des résistances, des self-inductions et des capacités. Tracé de diagrammes à l'échelle.

4° Étude d'ampèremètres et de wattmètres à transformateurs.

5° Mesures de puissances en courant alternatif par la méthode des trois voltmètres et la méthode des trois ampèremètres. Étalonnement d'un wattmètre par ces méthodes. Étude du wattmètre en faisant varier la différence de potentiel, l'impédance, etc., du circuit d'utilisation.

6° Étalonnage d'un compteur en courant alternatif. Étude du compteur en faisant varier la différence de potentiel, l'impédance, etc., du circuit d'utilisation.

6° Mesure de la puissance dépensée par hystérésis dans un tore.

8° Détermination d'un facteur de puissance.

9° Emploi d'un phasemètre.

10° Tracé de la courbe d'un courant alternatif par la méthode de Joubert, par l'ondographe et l'oscillographe. Étude des décharges d'un condensateur.

11° Étude des harmoniques d'un courant alternatif (analyse expérimentale d'un courant périodique).

12° Mesure d'une puissance dans un circuit triphasé par la méthode des deux wattmètres.

XII. MESURES PHOTOMÉTRIQUES. — 1° Maniement des étalons (Carcel, Hefner);

2° Étude d'une lampe à incandescence :

a. Intensité lumineuse horizontale dans divers azimuts, sous différence de potentiel normale.

b. Intensité lumineuse dans un même méridien pour diverses inclinaisons de la lampe.

c. Variation de la consommation spécifique (watts/bougie) en fonction de la différence de potentiel;

3° Étude d'une lampe à arc.

XIII. DIVERS. — 1° Étude de la résistance d'une lampe à incandescence en fonction de la différence de potentiel aux bornes;

2° Coefficient de variation de la résistance d'une bobine en cuivre avec la température;

3° Mesure d'une résistance par l'emploi d'un ampèremètre et d'un voltmètre;

4° Mesure d'une résistance par l'emploi d'un voltmètre et d'une résistance de comparaison;

5° Détermination de la résistance intérieure d'un accumulateur;

6° Étude de la charge et de la décharge d'un accumulateur;

7° Étude complète d'une pile.

Essais de machines.

Essais généraux. — 1. Essai au frein d'une machine à vapeur compound sans condensation de 20 kilowatts; pression 6 kg par centimètre carré avec prise simultanée de diagrammes aux 2 cylindres. Le frein employé est constitué par des sabots en bois portant sur la jante du volant de la machine; d'un côté sont placés des poids connus, de l'autre un dynamomètre (dynamomètre Richard à frein hydraulique). La différence des indications donne le poids agissant.

2. Détermination du prix de revient du kilowatt-heure d'un groupe électrogène constitué par la machine de 20 kilowatts entraînant une dynamo de 15 kilowatts par l'intermédiaire d'une transmission. L'essai se fait à la puissance de 10 kilowatts.

3. Détermination du prix de revient du cheval-heure à la jante dans un moteur à gaz Charon de 13 kilowatts, 190 t : m, alimenté au gaz de ville et freiné par un frein de Prony à collier avec renvoi de l'effort sur une balance au $\frac{1}{10}$. Prise simultanée de diagrammes (1).

(1) Les essais 1, 2 et 3 sont effectués à la salle des machines du Laboratoire Central; tous les suivants à la salle des machines de l'École.

Essais en courant continu. — 4. Montage d'une machine shunt en moteur; tracé d'une caractéristique à vide.

5. Tracé de la caractéristique à vide suivi du tracé de la courbe de réaction d'induit d'une machine à excitation séparée; tracé pour la même machine des caractéristiques suivantes :

1^o Tension aux bornes en fonction de la vitesse, à intensité constante;

2^o Courant d'excitation en fonction de l'intensité à vitesse et tension constantes.

6. Montage de la machine en excitation shunt et détermination de la courbe de la tension en fonction du débit.

7. Mise en charge d'une machine et détermination de la courbe d'échauffement des diverses parties au thermomètre, et, pour l'inducteur, au thermomètre et par l'augmentation de résistance.

8. Détermination du rendement par la méthode des pertes séparées (courbe d'intensité et de puissance en fonction de la force électromotrice poussée aussi bas que possible et extrapolation pour avoir les pertes mécaniques). Tarage, par la méthode des pertes séparées, d'un moteur ou d'une génératrice.

9. Application de la méthode de Housman pour la séparation des pertes. Diagramme des potentiels au collecteur.

10. Essai au frein d'un moteur shunt; détermination du rendement d'une génératrice par l'emploi d'un moteur taré.

11. Méthode d'Hopkinson avec moteur auxiliaire taré par la méthode des pertes à vide. Méthode de M. Potier.

12. Essai d'un moteur série (caractéristique à vide, essai en charge, couple statique au démarrage).

13. Essai de 2 moteurs identiques (moteurs de *tramway*) montés sur un engrenage commun, par la méthode de Hutchinson (source au potentiel 500 volts; source en survolteur compensant la chute de tension et permettant de renvoyer sur la ligne l'énergie du moteur fonctionnant en générateur).

Essais en courant alternatif. — 14. Tracé de la caractéristique à vide d'un alternateur.

15. Essai en court-circuit (méthode de Behn Eschenburg et de Rothert); tracé d'une caractéristique sur courant déwatté (application de la méthode de M. Potier). Essai direct en charge sur résistances inductives et non inductives (relation entre la tension et l'intensité à décalage constant).

16. Essai d'un transformateur. Essai à vide. Détermination du rendement de 2 transformateurs identiques, par la racine du quotient des puissances recueillies et fournies. Essai en court-circuit.

17. Essai de 2 transformateurs identiques par la méthode de Kapp. Etude de la variation des pertes dans le fer à fréquence variable et tension constante, à tension constante et fréquence variable.

18. Essai d'un moteur asynchrone monophasé entraînant une génératrice continue tarée. Couple de démarrage.

19. Essai au frein d'un moteur triphasé asynchrone. Couple de démarrage. Mesure de la puissance par 2 wattmètres.

20. Couplage d'un moteur synchrone triphasé. Tracé de la courbe en V à vide et en charge.

21. Essai d'un moteur monophasé asynchrone.

22. Essai d'une commutatrice.

Travaux d'atelier.

I. EXERCICE PRÉLIMINAIRE : *Construction d'un électro-aimant.* — Ce travail comporte l'exécution des pièces suivantes : 2 noyaux de fer doux cylindriques réunis avec vis et écrous par une culasse de fer doux; une armature mobile; 2 bobines en laiton se mettant sur les noyaux et destinées à recevoir le fil.

Un groupe de deux élèves exécute l'ensemble d'après un dessin coté.

II. ÉPISSURES. — 1^o Épissure en bout et en T; soudure; câbles nus à 7 fils;

2° Épissure en bout et en T; soudure; câbles isolés à 19 fils; isolation des parties dénudées.

3° Exécution d'une cosse en laiton d'après un croquis; fixation sur un bout de câble; arrangement d'un bout de câble;

4° Soudure à l'argent et au chalumeau des fils de 2 câbles à réunir;

5° Soudure des accumulateurs, des pattes tubulaires en plomb et des câbles de connexion; ces deux opérations sont faites : 1° au fer à souder ordinaire; 2° par le procédé électrique;

6° Cuisson d'une épissure isolée dans un bain de paraffine fondue, mesure et comparaison de l'isolement obtenu avec celui du câble même;

7° Démonstration des modes de jonction des câbles souterrains à haute tension dans leurs boîtes de raccord.

III. ENROULEMENTS : 1° *Enroulements sur armatures lisses, anneau et tambour.* — Le problème posé est le suivant :

Étant donnée une armature lisse, ses dimensions, les nombres de conducteurs périphériques et de sections, dresser un tableau de conduite des fils et exécuter plusieurs sections consécutives.

Il est mis à la disposition des élèves des armatures en bois (tambours et anneaux) sur lesquelles ils doivent réaliser les sections.

2° *Enroulements à courant continu sur tambours dentés (fig. 47).* — Cinq problèmes différents sont posés, répartis chacun par groupe de six élèves.

Les données sont les suivantes :

1° *Données générales.*

Puissance, nombre de tours par minute, voltage, nombre de pôles, genre de l'enroulement, diamètre du collecteur.

2° *Données particulières.*

Armature. — Diamètre extérieur; diamètre du fond de denture; diamètre intérieur. Longueur hors tout.

Denture. — Nombre de dents. Pas à la surface; pas au fond. Largeur maximum des dents; largeur minimum des dents.

Entailles. — Profondeur; largeur. Diamètre du fil. Nombre de sections; nombre total des conducteurs; nombre total des conducteurs par entaille; nombre total des spires par section.

D'après ces données, chaque groupe d'élèves doit :

- 1° Exécuter un tableau de bobinage;
- 2° Exécuter une épure de la forme des éléments de bobinage;
- 3° Réaliser un gabarit simple et facile à démouler pour fabriquer les divers éléments obtenus en épure par les données du problème.

L'exécution est réalisée entièrement par les élèves qui fabriquent ensuite quelques sections avec du fil de cuivre guipé et les présentent sur les induits dentés réalisés en bois sur les données du problème.

3° *Enroulements polyphasés* (fig. 48). — Comme plus haut, cinq problèmes différents sont posés (répartis chacun par groupe de six élèves).

Les données sont les suivantes :

1° *Données générales.*

Genre de machine (alternateur ou moteur). Puissance. Nombre de tours par minute. Fréquence. Tension entre deux bornes.

2° *Données particulières.*

Stator (1) : Diamètre intérieur, diamètre extérieur. Largeur. Nombre d'entailles ou trous, nombre de fils par entaille. Diamètre du fil. Genre de couplage. Nombre de pôles, nombre de bobines par phase.

L'exécution comprend :

- 1° Une épure de l'enroulement des fils;
- 2° Un tracé du stator et de la carcasse renfermant les tôles et limitant la longueur des bobines;
- 3° Un tracé vu de face et coupé par l'axe des bobines afin de déterminer la saillie sur les plans terminaux du stator.

Ce travail étant terminé, chaque groupe d'élèves doit fabriquer

(1) Il n'est pas exécuté de rotor, à cause de la ressemblance des enroulements de stator et de rotor.

plusieurs bobines avec le fil approprié, la forme de ces bobines étant donnée par des gabarits exécutés d'après les dessins d'ensemble.

Les stators employés ont été construits en bois par raison d'économie et leurs dimensions sont restreintes comme largeur et diamètre extérieur.

IV. COLLECTEURS. — Cet exercice se fait en commun par les élèves d'une même série, d'après un dessin coté, relevé sur des collecteurs existant dans l'industrie. Le travail est conduit de la façon suivante :

Chaque élève exécute plusieurs lames (entailles pour les ailettes, rivure, soudure et pliage des ailettes) et un isolant pour chaque lame. L'assemblage de toutes les lames composant le collecteur se fait dans un collier spécial avec vis de serrage sur bagues en fonte. On monte le tout sur le tour pour faire les parties coniques, pendant que l'armature en bronze est exécutée par un autre élève; on opère le montage définitif avec l'isolant et l'on tourne l'extérieur.

Le travail de montage du collecteur est délicat et difficile à bien mener à bout. Aussi, choisit-on pour le faire des élèves qui ont déjà une éducation professionnelle. Ces derniers sont, autant que possible, répartis également dans les différents groupes d'élèves, de façon à leur donner en quelque sorte un conducteur au courant du travail.

Visites d'usines.

Les principales usines visitées dans ces dernières années ont été :

- 1° Compagnie des chemins de fer de l'Ouest (Usine génératrice des Moulineaux, sous-station du Val-Fleury, Gare des Batignolles);
- 2° Compagnie des chemins de fer d'Orléans (Station génératrice de la ligne Austerlitz-quai d'Orsay, sous-station d'Austerlitz);
- 3° Compagnie des chemins de fer du Nord (Transformateurs Leblanc);
- 4° Métropolitain (Usine de Bercy, sous-station du Père-Lachaise, ateliers de réparation et dépôt);
- 5° Usine de l'Est-Lumière;
- 6° Ateliers de construction de l'Éclairage électrique;
- 7° — — — Postel-Vinay;

- | | | |
|-----|--------------------------|-----------------------|
| 8° | Ateliers de construction | Sautter-Harlé; |
| 9° | — | Société Gramme; |
| 10° | — | Française électrique. |

Stages dans les usines.

Les usines qui acceptent nos élèves pour un stage de 2 à 6 jours sont les suivantes :

- 1° Secteur de la Rive gauche;
- 2° — des Champs-Élysées;
- 3° — de la place Clichy;
- 4° — Edison (Palais-Royal);
- 5° — Edison (Saint-Denis);
- 6° Usine des Moulineaux (Compagnie de l'Ouest).

Excursions électrotechniques.

Les programmes des deux derniers voyages d'étude ont été les suivants :

1903.

Paris, Belfort, Bâle, Zurich, Come, Lecco, Milan, Simplon, Saint-Maurice, Lausanne, Genève, Paris.

1904.

Paris, Belfort, Bâle, Rheinfelden, Zurich, Lucerne, Berthoud, Berne, Lausanne, Saint-Maurice, Genève, Paris.

III. — DESCRIPTION SOMMAIRE DES INSTALLATIONS MATÉRIELLES DE L'ÉCOLE.

(Pl. XIII, XIV et XV.)

L'École dispose d'une surface bâtie de 520 m^2 (un rez-de-chaussée et deux étages). Au rez-de-chaussée (*fig. 25*), sont installés le Laboratoire commun de mesure (140 m^2) et la salle des machines (180 m^2); l'atelier dispose d'un pavillon spécial composé d'un rez-de-chaussée et d'un étage qui a reçu le nom de pavillon Giffard (*fig. 4*). Au premier étage du bâtiment principal (*fig. 26*), se trouvent la salle de cours, le cabinet du Sous-Directeur et du Chef des travaux, et quelques salles de mesures particulières (photométrie, salle de courants alternatifs). Enfin, le second étage (*fig. 27*) est occupé par 15 salles d'études comprenant chacune, table à dessin, tableau noir, armoire, etc., qui sont mis à la disposition des élèves pour leur travail personnel. Ajoutons que toutes les installations du Laboratoire Central d'Électricité sont éventuellement à la disposition de l'École pour l'instruction des élèves, en particulier, pour le courant alternatif, les installations de grande intensité et de haute tension.

1. Laboratoire de mesures.

(Pl. XVI.)

Le laboratoire commun de mesures (*fig. 31*), où les élèves travaillent par groupes de deux et exécutent pour la plus grande partie le programme donné plus haut, est une grande salle de $8,50 \text{ m} \times 17 \text{ m}$. Chaque groupe a, à sa disposition, un pilier ⁽¹⁾ solidement fondé, ayant $0,70 \text{ m}$ de largeur, $0,35 \text{ m}$ de profondeur, $1,05 \text{ m}$ de hauteur, et une table solide de $1,40 \text{ m} \times 0,90 \text{ m}$; une lampe à incandescence ⁽²⁾ suspendue au plafond, pour l'éclairage des échelles divisées; deux lignes pouvant porter, l'une 50 ampères, l'autre 5 ampères sous des tensions variables, une boîte contenant 3 éléments Leclanché (construits par les élèves) et une autre contenant une provision de fils et d'outillage usuel; en outre, un grand

⁽¹⁾ Un même pilier est assez large pour suffire à deux groupes se faisant vis-à-vis.

⁽²⁾ Une même lampe sert à deux groupes.

nombre d'accumulateurs portatifs sont employés suivant les besoins. Le nombre des groupes possibles est 21, ce qui correspondrait à une promotion de 126 élèves partagés en six séries dont deux travaillent simultanément au Laboratoire. L'éclairage de la salle se fait par arcs renversés.

Outre ces installations générales, la salle de mesures dispose d'une ligne de 40 ampères alternatifs sur le Secteur de la rive gauche et de deux lignes en fil isolées, l'une de faible, l'autre de grande résistance, pour la recherche des défauts.

A côté de cette grande salle, se trouve une salle de 7 m $\times$ 4 m qui constitue le cabinet des préparateurs et la réserve des appareils de mesure. Ces appareils (1) sont actuellement en nombre suffisant pour assurer le travail, suivant le programme indiqué plus haut, d'une promotion de 90 élèves.

Outre cette grande salle, l'École possède quelques salles particulières, situées au rez-de-chaussée, au premier et au second étage, où se font les mesures qui exigent une surveillance plus étroite. Ce sont : 1° une salle d'électrochimie avec prise de courant de 200 ampères; 2° une salle de photométrie (27 m²) munie d'un banc photométrique avec écran Bunsen et appareils de mesures pour les lampes à incandescence; 3° une salle de mesures des courants alternatifs (27 m²) où se fait, en particulier, le maniement des balances de Lord Kelvin; 4° une salle de mesures d'isollements (16 m²) disposant d'un galvanomètre Thomson avec suspension Julius (*fig. 32*).

(1) Piles, accumulateurs, piles étalons; rhéostats, résistances étalons, boîtes de résistance de 1 ohm, 10 ohms, etc., 1 mégohm, boîtes à pont, résistances étalons pouvant supporter de forts courants, ponts à fil, ponts doubles de Kelvin, bobines de self-induction étalons fixes, bobines de self-induction étalons variables, bobines de self-induction à noyau de fer, condensateurs étalons, condensateurs industriels, etc.; galvanomètres Desprez-d'Arsonval, différentiels, balistiques, galvanomètre Kelvin, ampèremètres et voltmètres pour courant continu, industriels et de précision, ampèremètres et voltmètres thermiques et électromagnétiques, électrodynamomètres, balances électrodynamiques Kelvin, électromètres de précision et industriels, électromètre capillaire, wattmètres de précision et industriels, à torsion ou à lecture directe, compteurs de courant continu ou alternatif; photomètre, appareil de projection, petits moteurs et génératrices de courant continu, alternatif ou continu et alternatif, transformateurs; perméamètres Hopkinson, à arrachement, Picou; hystérésimètres Blondel, Ewing; décaleur ohmique, phasemètre, contacts tournants, ondographe, oscillographe, etc., etc.

2. Salle des machines.

(Pl. XVII à XXII.)

La salle des machines (*fig.* 27 et 33), où les élèves travaillent par groupes de 6 au maximum, a une surface de 180 m²; elle est largement éclairée par une toiture vitrée. Nous décrirons sommairement le matériel qu'elle renferme. Les lettres et les chiffres romains placés en tête de chaque paragraphe se rapportent à la figure 27.

SOURCES D'ÉNERGIE. — A. Une batterie d'accumulateurs Blot de 66 éléments, capacité 250 ampères-heure pour une décharge en 5 heures.

B. Un poste de 30 kilowatts sur le Secteur de la rive gauche (monophasé 42 ~). Le poste comporte : 1° un interrupteur primaire à haute tension, bipolaire, à rotation, rupture à air libre, placé dans une cabine spéciale en maçonnerie; 2° deux transformateurs de 15 kilowatts chacun, le premier abaissant la tension à 110 volts, le deuxième à 2×55 volts. Six câbles partent du poste de transformateurs en constituant trois lignes, l'une à 110 volts, deux à 55 volts. Ces lignes, après avoir traversé trois compteurs, se rendent à un tableau de couplage qui permet de réaliser toutes les combinaisons possibles entre les tensions. Ce tableau (*fig.* 37 et 38) comporte fusibles, interrupteurs, ampèremètre pour la ligne à 110 volts; fusibles, commutateur bipolaire à 2 directions, ampèremètre pour les lignes à 55 volts. Le commutateur permet de grouper en série ou en parallèle les lignes à 55 volts sur une ligne unique. Enfin, un interrupteur unipolaire, placé sur la même rangée que les interrupteurs 110 volts et que le commutateur 55-110 volts, permet de grouper en tension la ligne 110 volts et la ligne 55-110 volts.

Les départs des lignes sont à la partie supérieure du tableau :

1° A gauche, départ de la ligne 110 volts; cette ligne est envoyée au *tableau d'intercommunication* qui sera décrit plus loin (T₂);

2° Au centre, départ de la ligne 165-220 volts (résultant de la mise en tension des lignes 110 ou 55-110); cette ligne va alimenter le groupe moteur synchrone générateur continu qui sera décrit plus loin (C);

3° A droite, départ de la ligne 55-110 volts (résultant du couplage

série ou parallèle des deux lignes 55 volts); cette ligne est envoyée également au tableau général de couplage.

Un voltmètre muni d'un commutateur bipolaire à 3 directions contrôle la tension de ces trois lignes.

C. Un groupe (*fig. 34*) moteur synchrone monophasé, générateur à courant continu (Postel-Vinay). Il comprend :

Un moteur synchrone monophasé à inducteur tétrapolaire tournant, induit fixe, circuit amortisseur Leblanc, 1260 t:m, 220 volts, 90 ampères;

Une génératrice à courant continu 130-165 volts, 100 ampères, manchonnée avec le moteur synchrone par un accouplement élastique formant poulie et capable de transmettre la somme des puissances des deux machines pour le cas où l'on fait fonctionner à la fois la machine à courant alternatif et la machine à courant continu en moteurs. On peut disposer ainsi de 30 kilowatts environ.

Le groupe est contrôlé au moyen d'un tableau (*fig. 35 et 36*) dont la partie droite est réservée au courant continu, la partie gauche au courant monophasé. Le démarrage se fait à l'aide du courant continu de la batterie envoyé dans la génératrice fonctionnant comme moteur. Le synchronisme est constaté par des lampes de phase. Du reste, grâce à la présence de l'amortisseur Leblanc, le couplage peut être réalisé sans aucune espèce de précaution et même hors de phase. Le groupe peut : soit charger la batterie, soit être mis en parallèle avec elle.

DISTRIBUTION DU COURANT DANS LA SALLE. — T_1 . *Tableau de la batterie*. — Une ligne spéciale de 38 mm² met en relation la batterie avec les machines génératrices du Laboratoire Central. Sur le tableau sont placés : un ampèremètre, un voltmètre, un réducteur de charge de 16 éléments. De la batterie part, avec un réducteur de 16 éléments, une ligne de 40 mm², bouclée et faisant le tour de la salle d'essais. Des bornes marquées 110 volts, placées près de chaque groupe de machines, sont reliées à cette ligne par l'intermédiaire d'un interrupteur 70 ampères avec coupe-circuit placé sur panneau-marbre.

Ce tableau de la batterie comporte en outre 6 réducteurs unipolaires à plots. Les éléments de la batterie sont reliés à ce réducteur

d'abord de 2 en 2, puis de 4 en 4. Des cordons souples permettent de relier à ces plots des bornes marquées V (variable) placées près de chaque groupe de machines. Ces lignes comportent également interrupteurs et fusibles placés sur panneau-marbre. Le voltage emprunté à ces dernières bornes peut donc varier dans les limites les plus étendues.

T₂. *Tableau d'intercommunication.* — Il est très souvent nécessaire d'alimenter un groupe de machines avec du courant emprunté à un autre groupe distant du premier. On a voulu éviter complètement les lignes volantes traversant la salle, toujours encombrantes, surtout étant donné le nombre des opérateurs, et longues à installer. Près de chaque groupe de machines aboutit une ligne marquée O (ligne omnibus) et pourvue d'interrupteurs et de fusibles pour 75 et 100 ampères. Ces lignes se rendent à la partie inférieure du tableau d'intercommunication (*fig. 39*) situé au fond de la salle et aboutissent à des plots doubles numérotés de 1 à 20. A la partie supérieure du tableau, arrivent toutes les lignes provenant des différentes machines génératrices :

Batterie et groupe Postel-Vinay.....	1 ligne
Secteur de la rive gauche.....	2 lignes
Commutatrice.....	2 lignes (4 fils)
Lignes du Laboratoire Central d'Électricité.....	4 lignes

Il y a de plus six plots en attente.

Des interrupteurs et des fusibles sont placés sur ces lignes qui aboutissent à une double rangée de plots.

Des cordons souples munis de fiches à leurs extrémités permettent de mettre en relation un plot quelconque avec un autre plot quelconque. On peut donc faire ainsi toutes les combinaisons nécessaires et le simple examen du tableau indique quelles sont les machines en service. Les plots et fiches ont été prévus pour 150 ampères et donnent toute satisfaction. Ce tableau a été construit par Vedovelli et Priestley.

DESCRIPTION DU MATÉRIEL D'ÉTUDES. — I. *Groupe continu, diphasé, triphasé.* — Ce groupe (*fig. 42*), construit par la Société Gramme, est constitué par un moteur à courant continu de 80 ampères 110 volts, 1350 t : m, entraînant par un manchonnage élastique genre Raffard,

d'un côté, un générateur triphasé, de l'autre un générateur diphasé (ou monophasé).

Générateur triphasé. — Tétrapolaire, induit denté tournant, bobinage étoilé, point neutre relié à une bague spéciale, tension maxima 160 volts à 1350 t : m, intensité 15 ampères par phase.

Générateur diphasé. — Tétrapolaire, induit denté tournant, 2 enroulements monophasés, diphasés l'un par rapport à l'autre; tension maxima 220 volts à 1350 t : m, intensité 20 ampères. Du côté monophasé, la force électromotrice affecte à peu près la forme triangulaire; du côté triphasé, elle est parfaitement sinusoïdale. Le groupe est commandé par un tableau spécial.

II. Un moteur asynchrone monophasé OErlikon : 1200 t : m, 110 volts, 3 kilowatts, 45 ampères. Démarrage au moyen d'un enroulement additionnel diphasé par rapport au premier et où l'on envoie du courant décalé par une bobine de self-induction; induit triphasé fermé sur un rhéostat de démarrage.

III. Deux dynamos Sautter-Harlé (*fig. 41*) : un moteur 120 volts, 25 ampères, 1850 t : m, entraînant par courroie une génératrice 120 volts, 20 ampères, 1850 t : m, munie d'un enroulement compound sectionné en quatre bobines. Ces machines servent au tracé des caractéristiques; la machine compound sert aussi à des montages comme survolteur différentiel.

IV. Un moteur synchrone monophasé Labour, entraînant une génératrice shunt à courant continu. Le moteur fonctionne et démarre à l'aide du courant monophasé 42 ~ du Secteur. Puissance 3 kilowatts à 1260 t : m. Il entraîne par courroie une génératrice à courant continu 120 volts, 25 ampères.

V. Deux transformateurs, construits par la Maison Breguet, de 3 kilovoltampères chacun, 110-1100 volts, et un transformateur à primaire et secondaire subdivisés en quatre bobinages distincts chacun.

VI. Deux dynamos de la Compagnie générale d'Électricité de Creil de 4 kilowatts, 120 volts, 1400 t : m, accouplées par manchonnage élastique.

VII. Une machine polymorphique Daydé et Pillé (*fig. 44*) de 14 kilowatts. Cette machine, hexapolaire, donne du côté continu 420 volts et 60 ampères, à la vitesse de 1000 t : m, et du côté alternatif, soit du courant triphasé à la tension de 130 volts, soit du monophasé ou du diphasé à 165 volts.

Elle est pourvue d'un tableau où arrivent :

- 1° Une ligne venant de la batterie 130 volts;
- 2° Quatre lignes provenant du tableau général de groupement et que des commutateurs permettent de charger en mono-, bi- ou triphasé en les reliant aux bagues appropriées. Cette machine peut réaliser des applications très variées.

On sait, en particulier, combien la question de la résonance mécanique complique le fonctionnement des alternateurs en parallèle ainsi que des moteurs synchrones.

Pour étudier ces phénomènes sur la machine en question, on a muni l'arbre d'une douille sur laquelle peuvent être boulonnés des disques en fonte formant volant et dont les moments d'inertie sont proportionnels à 1, 2, 2,5. Le moment d'inertie de l'induit et de l'arbre est connu, on peut donc faire varier d'une façon pour ainsi dire continue le moment d'inertie de l'ensemble et voir comment le système se comporte, étant actionné par le Secteur de la rive gauche. On trouve ainsi que, pour une certaine combinaison des volants, le fonctionnement est le plus stable. Pour certaines combinaisons, au contraire, le fonctionnement est impossible; la machine accrochée ne tarde pas à « pomper » et, bientôt après, décroche.

VIII. Un frein dynamométrique (*fig. 43*), 9 kilowatts, vitesse 1000 t : m, construit par la Maison Panhard et Levassor avec dynamo Hillairet; cet appareil est constitué par une dynamo dont l'inducteur peut osciller sur un système de billes et dont l'induit peut être manchonné avec le moteur dont on veut déterminer la puissance. Cet induit, pourvu à la fois d'un collecteur et de bagues, peut être chargé, soit en continu, soit en alternatif. Pour maintenir l'inducteur en équilibre, il est nécessaire de placer un poids à l'extrémité d'un levier de 1 m, solidaire de l'inducteur. La valeur numérique de ce poids en kilogrammes donne directement, en kilogrammètres, le couple résistant produit par le frein.

La disposition avec bagues est la plus employée, car on évite les étincelles et, de plus, en mettant une bobine de self-induction à noyau réglable dans le circuit de charge, on peut très bien faire varier la charge.

La salle des machines possède encore :

Un moteur système Boucherot triphasé, 110 volts, 15 ampères par phase, 4 pôles ;

Un moteur Sautter-Harlé, 120 volts, 35 ampères, 1450 t : m ;

Un moteur triphasé OErlikon, 7 ampères, 110 volts ;

Un moteur série, 110 volts, 30 ampères.

INSTALLATION DES MACHINES. — Les machines I à V sont placées sur des massifs en meulière par l'intermédiaire d'une semelle en bois boulonnée dans le massif.

Les machines V à VIII, ainsi que le groupe moteur générateur, sont placées sur deux massifs parallèles en meulière et brique ; les massifs portent, scellées, deux files de rails sur lesquels on vient boulonner des traverses où sont à leur tour fixées les machines. L'un de ces massifs se prolonge par une plate-forme à rainures perpendiculaires en fonte (*fig. 43*), sur laquelle il est très facile de fixer les machines en essai.

Les deux systèmes de rainures permettent de faire la mise en place très rapidement et très solidement.

Entre les deux massifs est une transmission comportant un arbre de 80 mm réduit à 70 mm aux tourillons. Cette transmission est partagée en deux parties qui peuvent être rendues indépendantes et que réunit un manchon d'embrayage élastique.

Tous les massifs sont entourés de caniveaux pour l'écoulement des eaux provenant des essais au frein.

TABLEAU D'ÉTALONNAGE DES INSTRUMENTS. — Afin de pouvoir vérifier fréquemment les appareils de mesures qui servent aux essais de machines et sont particulièrement exposés aux accidents, il a été prévu une installation spéciale pour les étalonnages (*fig. 40*).

Deux barres de cuivre sont reliées à la batterie en empruntant un réducteur spécial ; en série sur la barre supérieure est disposé un ampèremètre Chauvin et Arnoux. Un commutateur spécial

permet d'intercaler les différents shunts relatifs à cet appareil depuis celui de 1 ampère jusqu'à celui de 100 ampères; des résistances graduées commandées par des interrupteurs peuvent être mises en parallèle entre les barres, de façon à donner au courant des valeurs variées. La barre supérieure est sectionnée de façon à pouvoir intercaler les appareils à étalonner. Le Tableau comporte également deux bornes qu'une ligne relie à un réducteur spécial. Sur ces bornes est monté, à poste fixe, un voltmètre étalonné (Chauvin et Arnoux) et l'on peut placer en dérivation les voltmètres à étalonner.

Les appareils Chauvin et Arnoux qui servent d'étalons secondaires sont étalonnés à la balance Kelvin (balance déca-ampère pour l'ampèremètre, balance centi-ampère montée en voltmètre pour le voltmètre).

Un Tableau donnant la correction de température pour l'ampèremètre est annexé à l'installation.

3. Atelier.

(Pl. XXIII et XXIV.)

L'École possède deux ateliers d'ajustage de 70 m² chacun, situés respectivement l'un au rez-de-chaussée (*fig.* 45) et l'autre au premier étage (*fig.* 46) du pavillon Giffard, et un atelier de menuiserie de 25 m² donnant dans l'atelier du premier étage.

La commande des machines-outils se fait par deux moteurs électriques d'environ 4 chevaux, un pour chaque atelier, qui actionnent chacun une transmission portant des renvois correspondant aux diverses machines. Ces moteurs sont branchés sur une ligne à courant continu en dérivation sur la batterie de l'École et peuvent marcher sous une tension variable de 110 à 160 volts.

L'atelier du rez-de-chaussée comprend :

Un tour à engrenage de 150 mm ;

Deux tours à engrenage de 125 mm ;

Un tour simple à bois de 120 mm ;

Un étau limeur Huré à déplacement transversal automatique ;

Une fraiseuse universelle Pretot à mouvement transversal automatique, sur laquelle on peut adapter un système à mortaiser, un appareil à tailler les fraises de forme ;

Une machine à percer Décoster ;

Une meule pour l'affûtage des outils ;

Une presse à balancier pour le découpage des tôles ;

Trois établis et douze étaux à pied ;

Une forge portative, une enclume et les outils de forge.

L'atelier du premier étage comprend :

Une machine à percer Strube pour trous jusqu'à 10 mm ;

Six tours de précision de 100 mm et 120 mm commandés par la transmission ;

Un tour de précision à pédale ;

Une machine à enruber les éléments de bobinage, commandée par la transmission ;

Une scie à ruban système Huré, commandée directement par un moteur de 5 chevaux branché sur la même ligne que les deux précédents. Cette machine peut servir indistinctement pour le bois ou métaux tendus, et il suffit de changer les rubans.

Cinq établis et dix-huit étaux à pied sont disposés autour de la salle.

L'atelier de menuiserie comprend trois établis munis de leur outillage (rabots, varlope, riflard, etc.) et un outillage général (presse à bois, serre-joint, appareil pour affûter les scies).

Pour les ateliers d'ajustage, sous chaque établi sont disposés des tiroirs fermant à clef qui reçoivent l'outillage particulier de chaque élève.

Quant à l'outillage général, il est réparti dans deux armoires fermées et mis à la disposition des élèves pendant les heures de l'atelier.

L'éclairage est assuré, dans la journée, par des fenêtres larges et hautes ; le soir, par des lampes à incandescence disséminées au-dessus des établis, alimentées par le courant du Secteur, et par deux lampes à arcs en série (une par atelier) de 12 ampères, dont le tableau et la bobine de réaction se trouvent au premier étage. Le courant est pris sur la ligne alternative principale d'alimentation de l'éclairage de l'École.



ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

PROMOTION X. — 1903-1904.

Élèves qui ont obtenu le diplôme d'Ingénieur-Électricien.

MM.	MM.	MM.
1. ELLUIN.	16. COULON.	31. DE LA CHAPELLE.
2. DEBOUT.	17. THIELEMANS.	32. LE GOFF.
3. DIVE.	18. DE BEAUREGARD.	33. AUMONT.
4. MOREAU.	19. DESJARDIN.	34. MARTIN.
5. MARIE ST-GERMAIN.	20. DE MASSIAS.	35. DURAND.
6. JOHANN.	21. HOCHSTETTER.	36. FEDOROFF.
7. GROSRENAUD.	22. LEBAS.	37. CHEMIN.
8. BOUCHARD.	23. PERRIER.	38. BILARD.
9. FRANCKEL.	24. PATOT.	39. CHEDEVILLE.
10. NIVET.	25. NEDEFF.	40. DANIS.
11. AUBIN.	26. DZIERZBICKI.	41. GAILLARD.
12. D'AMBRIÈRES.	27. LEGRAS.	42. WINAWER.
13. BRUNE.	28. D'ALMEIDA.	43. COURTEAUX.
14. HARDELAY.	29. BERTOYE.	44. KRAKOWSKI.
15. TIROLLOY.	30. CHAMONIN.	45. GUILLON.

MM. le capitaine ROCHAS,	}	Officiers désignés par M. le Ministre de la Guerre.
— BAUDRAN,		
— COUADE,		
— DEWULF,		
MM. le lieutenant BLOT,	}	
— FOURNIER,		

LISTE ALPHABÉTIQUE

DES

ÉLÈVES SORTIS DIPLOMÉS DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ

DEPUIS SA FONDATION (1894) JUSQU'AU 1^{er} NOVEMBRE 1904 (1).

1896. — **Abbott** (W.-H.), Superintendent of erection of electrical Machinery for *Siemens and Halske Electric Company of America*, in Chicago.
1902. — **Abeille** (M.-E.).
1896. — **Alcaz** (E.).
1901. — **Allémandi**, Ingénieur à la *Société française A. E. G.*
1903. — **Almeida Lisboa** (J.-J. de), Professeur de Mathématiques au *Gymnasio nacional* de Rio-de-Janeiro.
1903. — **Ambrières** (G. d'), Ingénieur à la *Société anonyme des Forges et Chantiers de la Méditerranée*.
1893. — **Andry-Bourgeois** (C.-H.), Ingénieur civil des Mines.
1900. — **Anglade** (J.-J.-A.), Capitaine d'artillerie, adjoint au Service de l'électricité de la *Manufacture d'armes de Saint-Etienne*.
1901. — **Apvrille** (A.-E.), Décédé.
1902. — **Apvrille** (G.-M.).
1902. — **Arnould** (C.-H.), Capitaine d'artillerie, chef du Service des bâtiments, machines et électricité à l'*École centrale de Pyrotechnie militaire*, à Bourges.
1896. — **Aubert** (E.-P.), Chef du Service des installations électriques à la *Société des Mines et Usines de Commentry-Fourchambault-Decazeville*.
1897. — **Aubert** (M.-L.), Ingénieur à la *Cia iberica de Electricidad Thomson-Houston*.
1903. — **Aubin** (R.), Enseigne de vaisseau.
1900. — **Aufrère** (M.), Ingénieur à la *Société industrielle des Téléphones*.
1902. — **Aumont** (L.-E.).
1896. — **Azambre** (P.-M.-G.), Ingénieur à la *Maison Sautter-Harlé et Cie*.
1899. — **Bainville** (P.-A.), Capitaine d'artillerie.
1901. — **Bajetto** (P.), Ingénieur à la *Maison Gadda, Brioschi e Finzi*, de Milan.
1899. — **Balme** (E.-J.-F.), Représentant d'usines de constructions mécaniques et électriques.
1899. — **Barbaud** (L.-X.-C.), Capitaine d'artillerie, Inspection permanente des Fabrications de l'Artillerie.
-

(1) L'année de la promotion est désignée par l'année de l'entrée à l'École.

1896. — **Barbillion** (L.-C.-J.), Docteur ès Sciences, Sous-Directeur de l'*Institut électrotechnique de Grenoble*.
1898. — **Barennes** (H.-R.), Ingénieur au Service des études de la *Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston*.
1901. — **Bargeton**, Ingénieur à la *Société franco-suisse pour l'Industrie électrique* (chemin de fer de Martigny au Châtelard).
1901. — **Barrachin** (L.), Capitaine d'artillerie coloniale, Direction centrale de l'Artillerie navale.
1901. — **Barral**, Ingénieur à la *Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris*.
1902. — **Basch** (E.).
1899. — **Basset** (R.), Ingénieur attaché à l'*Usine à gaz d'Hyères de la Société lyonnaise des Eaux et de l'Éclairage*.
1900. — **Battegay** (C.-T.), Ingénieur à la *Société française A. E. G.*
1900. — **Baudot** (V.-M.), Ingénieur-conseil, Directeur du *Bureau d'Essais industriels*.
1901. — **Baudoux** (J.-E.-J.), Lieutenant d'Artillerie, Adjoint à la *Fonderie de canons de Bourges*.
1903. — **Baudran** (E.-P.-E.), Capitaine du génie, professeur à l'*École d'application de Fontainebleau*.
1897. — **Beaujard** (L.-G.), Ingénieur à la *Société de Locomotion électrique*.
1903. — **Beauregard** (L. SAVARY DE), Enseigne de vaisseau.
1902. — **Bécot** (H.-P.-F.-L.), Ingénieur à la *Société française Sprague*.
1900. — **Belet** (E.), Attaché aux ateliers de construction de la *Compagnie des Chemins de fer de l'Est*.
1899. — **Bélile** (J.).
1901. — **Belletrux** (L.-A.), Dessinateur à la *Société industrielle des Téléphones*.
1902. — **Bellot** (L.-D.-F.).
1900. — **Bergeon** (P.).
1900. — **Bernstein**.
1903. — **Bertoye** (L.).
1900. — **Berweiller**, Ingénieur attaché à l'exploitation technique de la *Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest*.
1896. — **Besombes** (C.-J.-H.), Représentant des *Anciens Établissements Luc, Court et Cie*, associé de la *Maison Besombes et Noël*.
1898. — **Bentom** (E.), Ingénieur à la *Société française A. E. G.*
1900. — **Bickart** (L.), Ingénieur de la *Maison Breguet*, à Gijon (Espagne).
1897. — **Bigot** (R.-L.), Directeur de la *Fundicion de Sinalva*, à Mazatlan (Mexique).
1903. — **Bilard** (A.-A.).
1898. — **Binet** (P.-J.-M.), Capitaine d'artillerie, chef de l'atelier de précision de la Section technique de l'Artillerie.
1901. — **Biver** (L.-P.-A.), Sous-inspecteur des appareils électriques de la voie à la *Compagnie des Chemins de fer de l'Est*.
1900. — **Blaché** (P.-L.-A.), Ingénieur à la *Société française Sprague*.
1899. — **Bloch** (G.), Contrôleur du Service du matériel (installations électriques) à la *Compagnie du Chemin de fer P.-L.-M.*
1899. — **Bloch** (M.), Ingénieur à la *Société des Grands Travaux de Marseille*.
1903. — **Blot** (P.-E.), Lieutenant d'artillerie.

1899. — **Boisseau** (A.), Attaché au Bureau technique de la *Société française d'électricité A. E. G.*
1898. — **Bombes de Villiers** (L.), Ingénieur à la *Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston.*
1903. — **Bouchard** (P.-M.-J.).
1901. — **Boudeville** (R.), Attaché au Service d'études financières du *Comptoir national d'Escompte.*
1898. — **Boulad** (H.), Ingénieur-électricien en Egypte.
1894. — **Boulardet** (E.), Ingénieur à la *Maison Hillairet-Huguet.*
1901. — **Boulitte**, Attaché au Service électrique de la *Compagnie du Chemin de fer d'Orléans.*
1902. — **Bourgeois** (R.-J.-M.-J.), Ingénieur à la *Société industrielle des Téléphones.*
1897. — **Bourguignon** (P.), Chef des travaux à l'*École supérieure d'Electricité.*
1902. — **Bousquet** (J.-G.).
1901. — **Boutin** (M.), Ingénieur attaché au *Laboratoire de M. André Blondel.*
1902. — **Breguet** (L.-C.), Ingénieur aux ateliers de Douai de la *Maison Breguet.*
1901. — **Brémaud**, Ingénieur civil.
1896. — **Brémond** (G.), Ingénieur à la *Maison Sautter-Harlé et Cie.*
1897. — **Brenot** (M.-C.), Sous-directeur de l'*Usine centrale du Secteur de la Rive gauche, à Issy.*
1900. — **Brüll** (M.), Ingénieur à la *Société Westinghouse.*
1903. — **Brune** (P.), Attaché aux *Ateliers Thomson-Houston.*
1901. — **Brunel** (H.-P.-F.), Ingénieur à la *Société française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston.*
1899. — **Bruneteau** (M.-G.), Ingénieur à la *Maison Luminais et Pageot.*
1898. — **Bullier** (A.), Ingénieur à la *Société française A. E. G.*
1899. — **Cabrol** (L.-J.-G.), Conducteur des travaux de la Ville de Paris (Eclairage).
1897. — **Cahen** (A.), Ingénieur de la *Société coopérative des Fonderies, Laminoirs et Tréfileries de Rugles.*
1902. — **Cahen** (L.), Ingénieur des Télégraphes.
1902. — **Caillavet** (L.-J.).
1901. — **Canet** (P.-A.), Attaché aux *Ateliers de Constructions électriques de MM. Schneider et Cie, à Champagne-sur-Seine.*
1899. — **Cannes** (E.), Ingénieur chez MM. *Treadwell et Cie, à New-York.*
1902. — **Canonville-Deslys** (B.), Attaché aux services électriques de la *Compagnie du Chemin de fer du Nord.*
1898. — **Caplong** (E.), Ingénieur-assistant de M. *André Blondel.*
1901. — **Carrelet** (H.), Contrôleur de l'éclairage et des eaux de la ville de Hanoï.
1899. — **Cazin** (M.-F.-A.), Ingénieur à la *Société Alsacienne (service électrique).*
1901. — **Cervera y Jacome** (L.), Ingénieur chez M. *Palacios*, représentant pour l'Espagne de la *Vereinigte Elektrizitäts-Aktiengesellschaft de Vienne.*
1902. — **Chabert** (M.), Chef de service des essais à la *Compagnie générale électrique de Nancy.*
1896. — **Chaignon** (M. de).
1896. — **Chambrelent** (A.), décédé.
1903. — **Chamonin** (L.-A.).
1900. — **Champy** (A.-G.), Ingénieur à l'*Usine à gaz et d'Electricité de Carcassonne.*

1898. — **Chanier** (E.), Ingénieur à la *Compagnie générale de Travaux d'éclairage et de force* (anciens établissements Clémançon).
1902. — **Chantre** (J.), Ingénieur des Ponts et Chaussées.
1900. — **Charles** (V.-J.-M.-O.), Ingénieur à la *Compagnie de Fives-Lille*.
1897. — **Charpentier** (P.-L.), Chef de laboratoire à la *Câblerie de la Société Alsacienne*.
1899. — **Charton** (R.-E.-L.), Secrétaire général des services d'exploitation de la *Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris*.
1901. — **Chateau** (P.-L.), Ingénieur au *Secteur électrique de la place Clichy*.
1900. — **Chaumes** (A. des), Ingénieur aux *Charbonnages de Lincel-Saint-Martin*.
1903. — **Chédeville** (E.-P.).
1903. — **Chemin** (E.-A.).
1901. — **Chéron** (T.), Ingénieur-représentant de la *Maison Dunyach* (installations électriques).
1900. — **Chevalier** (L.), Capitaine d'artillerie à Fontainebleau.
1899. — **Chillaz** (J. de), Capitaine d'Artillerie, à Valence.
1895. — **Choulet** (L.), Ingénieur à la *Société méridionale de transport de force*.
1902. — **Christmann** (G.), Capitaine d'Artillerie, chef du Service des bâtiments et machines, à l'*Atelier de Constructions de Puteaux*.
1898. — **Clin** (E.-E.), Ingénieur aux *Usines du Pied-Selle*, à Fumay (Ardennes).
1902. — **Coccea** (C.), Lieutenant d'Artillerie dans l'armée roumaine.
1902. — **Codry** (P.-E.).
1898. — **Colin** (V.-H.), Lieutenant de vaisseau, chargé de la direction de l'*Usine centrale d'électricité* du port de Toulon.
1899. — **Constantin** (L.-J.), Ingénieur à la *Société d'électricité Alioth* (Bâle).
1901. — **Coponat** (A.), Attaché à la *Société Panhard et Levassor*.
1901. — **Coquille** (E.-H.).
1901. — **Cornabat** (R.), Ingénieur à la *Cie générale de Constructions électriques*.
1899. — **Cornuault** (A.), Ingénieur à la *Compagnie continentale pour la fabrication des Compteurs et Appareils à gaz*.
1900. — **Corta** (C. de), Sous-directeur de la *Construction des Chemins de fer de la Manche*, à Granville.
1894. — **Coster** (F.-E.-M.), Ingénieur à la *Compagnie centrale d'électricité de Moscou*.
1900. — **Cottavoz** (J.), Ingénieur à la *Société l'Est-Lumière*.
1903. — **Couade** (M.), Capitaine d'Artillerie.
1903. — **Coulon** (C.-G.-A.), Ingénieur à la *Société anonyme de construction*, Anzin.
1900. — **Courbier** (J.), Ingénieur-Conseil, expert près les Tribunaux, à Lyon.
1903. — **Courteaux** (L.-J.).
1897. — **Courtois** (G.-F.), Directeur de l'usine des constructions électriques à la *Société industrielle des Téléphones*.
1900. — **Croiset** (A.-C.-H.), Ingénieur à la *Compagnie d'électricité de l'Ouest-Lumière*.
1900. — **Crovisier** (C.-G.), Ingénieur chez M. *Tissier*, entrepreneur de travaux publics, au Caire.
1903. — **Danis** (J.).
1896. — **Dareste de la Chavanne** (E.), Ingénieur à la *Maison Rosier fils et Dareste*.
1903. — **Debout** (A.).
1900. — **Debrunner** (H.-A.), Ingénieur à la *Société Westinghouse*, au Havre.
1901. — **Decencièrre-Ferrandière**, Ingénieur de la Marine.

1901. — **Déflassieux**.
1899. — **Delafosse** (A.), Ingénieur à la *Compagnie des Chemins de fer P.-L.-M.*
1902. — **Deleuze** (A.-E.), Dessinateur à la *Compagnie des Chemins de fer P.-L.-M.*
1901. — **Delon** (J.), Ingénieur à la *Société française des Câbles électriques*, Lyon.
1901. — **Démarchez** (G.-E.), Ingénieur de la *Maison Butin*.
1899. — **Démichel** (E.-E.), Ingénieur à la *Maison Démichel*, instruments de précision.
1898. — **Desaux** (C.-E.), Ingénieur à la *Cie française de Télégraphie sans fils*.
1899. — **Desfontaines** (A.-G.), Capitaine d'Artillerie, *Direction de l'Artillerie de terre*, à Cherbourg.
1903. — **Desjardin** (J.-E.).
1899. — **Desvignes** (J.-E.), Ingénieur à la *Compagnie des Tramways de Saint-Etienne*.
1901. — **Dévé** (E. J.), Capitaine d'Artillerie en congé, Directeur commercial de la *Société des brevets et moteurs Letombe*.
1903. — **Dewulf** (J.), Capitaine du Génie.
1898. — **Diény** (P.), Ingénieur à la *Compagnie centrale d'électricité de Moscou*.
1900. — **Dinoire** (E.), Ingénieur aux Mines de Lens (Pas-de-Calais).
1903. — **Dive** (P.-V.), Ingénieur à la *Société de la Vieille-Montagne*, à Viviez.
1896. — **Dobkévitch** (J.), Ingénieur-assistant de M. *André Blondel*.
1897. — **Driole** (E.-N.), Ingénieur attaché au Service électrique de la *Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest*.
1901. — **Drouet** (J.-G.), Capitaine d'artillerie, *Manufacture d'armes de Tulle*.
1902. — **Duchez** (F.), Dessinateur à la *Société industrielle des Téléphones*.
1898. — **Dujour** (R.), Ingénieur au *Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers*.
1894. — **Durand** (A.-L.-J.), Chef des travaux au *Laboratoire Central d'électricité*.
1903. — **Durand** (P.-J.-A.).
1899. — **Dussaix** (H.), Ingénieur en chef de la 1^{re} circonscription d'exploitation des *Chemins de fer de l'Indo-Chine*.
1901. — **Dusser** (P.-L.-A.), Attaché au Service de la construction de la *Compagnie du Chemin de fer P.-L.-M.*
1897. — **Duval** (C.-L.), Ingénieur à la *Société l'Éclairage électrique*.
1903. — **Dzierzbicki** (T.).
1902. — **Edwards** (R.), Ingénieur civil au Chili.
1901. — **Elie-Lefebvre** (R.), Ingénieur à la *Société anonyme Électricité et Hydraulique*, à Charleroi (Belgique).
1903. — **Elluin** (H.-L.).
1900. — **Espagnol** (J.-J.-B.), Dessinateur au bureau des études de la *Compagnie du chemin de fer P.-L.-M.*
1899. — **Evrard** (L.-A.).
1902. — **Eytner** (T.-J.), Professeur à l'*École mécanico-technique Wawelberg et Rothwand*, de Varsovie.
1899. — **Fabre** (M.-L.-E.), Ingénieur-conseil de la *Banque française*.
1902. — **Fave** (M.-A.), Ingénieur de la *Station d'énergie électrique des Boulevards*.
1903. — **Fédoroff** (M.), Ingénieur des mines russes.
1901. — **Ferré** (E.).
1901. — **Ferrier** (P.), Ingénieur-adjoint au directeur du Service électrique de la *Société électrochimique de la Romanche*.

1899. — **Fétaz** (J.), Ingénieur du Service électrique de la *Compagnie du gaz de Vichy-Cusset*.
1901. — **Findeling** (A.-C.-F.), Ingénieur à la *Compagnie électromécanique*.
1900. — **Fleury** (C.-M.), Chef électricien du yacht *Lysistrata*.
1901. — **Fleury** (P.-L.-M.), Ingénieur à la *Société anonyme d'éclairage par le gaz et par l'électricité de la ville de Clermont-Ferrand*.
1898. — **Foucque** (H.-P.-H.), Lieutenant de vaisseau, chargé à bord des appareils électriques du *Duguay-Trouin*.
1894. — **Fournaraki** (L.), Ingénieur au service du Gouvernement roumain.
1903. — **Fournier** (H.-V.), Lieutenant d'artillerie.
1903. — **Franckel** (D.), Attaché au *Secteur électrique de la place Clichy*.
1902. — **Fric** (J.-L.-R.), Préparateur de Physique industrielle au *Laboratoire de Physique de la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand*.
1901. — **Fricotel** (P.).
1899. — **Gabeaud**, Capitaine d'artillerie, en retraite, Professeur à l'*École spéciale des Travaux publics*.
1903. — **Gaillard** (H.-F.).
1901. — **Gaillard** (J.-M.-L.), Ingénieur à la *Compagnie de l'Industrie électrique*, Genève.
1901. — **Galanis** (C.), Officier du génie hellénique.
1902. — **Gallay** (E.-M.).
1901. — **Gallet** (O.-A.), Attaché au Testing Department de l'*Edison general Electric Co*, à Shenectady (États-Unis).
1899. — **Garcia de la Mata** (J.), Ingénieur-directeur de l'*Usine Aurora*, à Jaën (Espagne).
1898. — **Garcin** (J.-F.-W.), Représentant de sociétés industrielles.
1900. — **Gasquet** (R.), Ingénieur de la *Compagnie des Docks et Entrepôts de Marseille*.
1897. — **Gaumy** (R.-M.), Ingénieur de la *Société des Usines électrochimiques de Crampagna*, près Varilhes (Ariège).
1902. — **Gavriloff** (J.), Ingénieur de 1^{re} classe de la Marine russe, Sous-Directeur du bassin expérimental de la Marine, à Saint-Petersbourg.
1899. — **Gay** (P.), Ingénieur à la *Société Alsacienne de constructions mécaniques*.
1898. — **Génon** (H.), Ingénieur-directeur de l'*Usine électrique de Châtel* (Ardenne).
1899. — **Gentilhomme** (L.).
1899. — **Georges**, Attaché au Service du matériel de la *Compagnie du Chemin de fer P.-L.-M.*
1902. — **Gignon** (C.-A.-E.), Enseigne de vaisseau, chargé des torpilles et de l'électricité à bord du cuirassé *Le Bouvet*.
1896. — **Gindre** (E.), Ingénieur à la *Société anonyme Le Carbone*, Levallois-Perret.
1900. — **Girard de Vasson** (J.-B.), Ingénieur à la *Société Gramme*.
1902. — **Girousse** (J.), Ingénieur des *Télégraphes*.
1901. — **Gobert**, Ingénieur-électricien aux *Hauts-fourneaux et Fonderies de Pont-à-Mousson*.
1898. — **Goldenberg** (W.), Ingénieur à la *Société centrale d'électricité de Moscou*.
1893. — **Goubaux** (G.-X.), Ingénieur au Service téléphonique de la *Société générale électrique et industrielle*.

1902. — **Gourdeau** (G.-M.), Dessinateur et chef de laboratoire à la *Société d'électricité Nilmelior*.
1900. — **Grandjean** (J.), Ingénieur aux *Ateliers et Chantiers de Provence*, à Marseille.
1900. — **Gratacap** (A.), Ingénieur-directeur de l'*Usine électrique du Val-de-Rance*.
1898. — **Grelley** (P.-J.-A.), Électricien à la *Société industrielle des Téléphones*.
1899. — **Grisel** (A.-C.-L.), Attaché au service des installations électriques de la *Compagnie du Chemin de fer de l'Ouest*.
1896. — **Grivet** (L.-E.-R.), Chef du Service électrique aux *Acéries de Denain et Anzin*.
1901. — **Grosdidier** (H.), Adjoint à l'administrateur-délégué des *Forges et Acéries de Commercy* (Meuse).
1903. — **Grosrenaud** (R.-E.).
1901. — **Guerrier** (E.-A.), Attaché à la *Maison François* (Installations électriques).
1897. — **Guery** (F.-C.), ancien Sous-Inspecteur à la *Cie des chemins de fer de l'Ouest*.
1899. — **Guesde** (M.), Ingénieur-chef de la *Station centrale électrique de Tunis*.
1902. — **Guiet** (F.-E.-J.).
1901. — **Guilhau**, Lieutenant d'artillerie coloniale.
1898. — **Guillaume** (J.), Ingénieur à la *Française électrique*.
1899. — **Guillon** (C.-E.), Attaché aux *Établissements Postel-Vinay*.
1903. — **Guillon** (E.-P.).
1901. — **Guitel**.
1897. — **Hacault** (G.-L.-J.), Chef du bureau des études à la *Société l'Éclairage électrique*.
1899. — **Halphen** (A.-C.-J.), Ingénieur à la *Société d'applications industrielles*.
1903. — **Hardelay** (J.).
1901. — **Hefty** (A.-F.), Capitaine au 12^e régiment d'artillerie, Hussein-Dey (Algérie).
1896. — **Henry** (A.), Inspecteur principal du matériel et de la traction aux *Chemins de fer de l'Est-Algérien*.
1898. — **Herbet** (E.), Directeur du *Funiculaire du Grand-Her*, à Lourdes.
1901. — **Hermet** (A.-M.), Dessinateur aux *Mines de Carmaux*.
1899. — **Herrmann** (H), Ingénieur à la *Société de construction Duparchy, Dollfus et Wiriot*.
1903. — **Hochstetter** (R).
1898. — **Huber** (M), Professeur à l'*École spéciale des Travaux publics*.
1901. — **Iglésis** (S.-S.), Ingénieur à la *Française électrique*.
1900. — **Iliovici** (A.-D.), Préparateur à l'*École supérieure d'électricité*.
1902. — **Imbault** (P.-M.).
1899. — **Iweins** (P.-C.), Ingénieur civil des Mines.
1901. — **Jaulin** (J.), Attaché à la *Compagnie continentale pour la fabrication des compteurs*.
1902. — **Jeance** (M.-J.), Enseigne de vaisseau, officier torpilleur à bord du croiseur-cuirassé *Le Condé*.
1899. — **Jenlis** (L. de), Attaché aux ateliers de machines de la *Compagnie des Chemins de fer du Nord*.
1903. — **Johann** (C.-N.-P.).
1899. — **Joly** (G.), Lieutenant au 15^e régiment d'artillerie.
1901. — **Joly** (L.), Ingénieur aux *Ateliers Carpentier*.

1898. — **Joret** (L.-J.), Ingénieur chez *MM. Grouvelle et Arquembourg*.
1899. — **Jouaust** (R.), Chef de travaux au *Laboratoire Central d'Électricité*.
1900. — **Jullin** (A.-J.), Dessinateur au bureau des études de la *Compagnie du Chemin de fer P.-L.-M.* (section des installations électriques).
1901. — **Juston** (P.-A.).
1896. — **Kammerer** (V.), Chef du Service électrique de l'*Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur*, à Mulhouse.
1903. — **Krakowski** (L.).
1896. — **Kreuzberger** (P.-G.-L.), Associé de la *Société G. et P. Kreutzberger frères* (cycles *Oméga*, automobiles).
1893. — **Labour** (H.), Ingénieur à l'*Aktien-Electricitätsgesellschaft*, Berlin.
1899. — **Labrouste** (P.).
1901. — **La Casta y Espana** (J.), Ingénieur à la *Société lyonnaise des eaux et de l'éclairage*.
1898. — **Lacaze** (M.), Ingénieur à la *Société l'Éclairage électrique*.
1903. — **La Chapelle** (M.-A.-G. de).
1898. — **La Chave** (A.), Ingénieur à la *Compagnie électrométallurgique pour l'exploitation des procédés Gin et Leleux*.
1901. — **Lacoste** (H.-E.-E.), Ingénieur du Génie maritime, sous-chef à la section des machines d'électricité à l'arsenal de Brest.
1900. — **Lagarde** (C.), Attaché au service des études de la *Compagnie générale d'Électricité de Creil*.
1901. — **Lamy** (P.-M.-L.), mécanicien à la *Compagnie du Chemin de fer P.-L.-M.*
1898. — **Landrin** (P.).
1899. — **Laporte** (G.), Ingénieur à la *Société l'Énergie électrique*, chef d'exploitation du réseau des Alpes-Maritimes.
1897. — **Larroze** (C.), ingénieur à la *Société l'Éclairage électrique*.
1899. — **Latour** (M.), Ingénieur-conseil de la *General Electric Co*, de New-York.
1899. — **Laur** (M.), Ingénieur à la *Western Electric Co*, New-York.
1898. — **Laurence** (P.-A.).
1899. — **Lavie** (P.), Ingénieur-expert près les Compagnies d'assurances.
1902. — **Laville** (C.-F.).
1903. — **Lebas** (C.-J.-B.).
1896. — **Lebaupin** (G.-L.-A.), Ingénieur attaché au service électrique de la *Compagnie du Chemin de fer de l'Ouest*.
1902. — **Lebrun** (M.-A.), Dessinateur à la *Compagnie électromécanique*.
1896. — **Lecler** (P.), Ingénieur à la *Compagnie de Fives-Lille*.
1899. — **Le Clerc** (G.-R.-M.), Directeur de l'*Usine de gutta-percha* de Gravelle.
1899. — **Le Deuc** (R.).
1894. — **Lefèvre** (E.), Ingénieur à la *Compagnie électrique du Secteur de la rive gauche de Paris*.
1901. — **Lefèvre** (G.), Attaché à la *Française électrique*.
1903. — **Le Goff** (C.-E.), Attaché à la *Société l'Éclairage électrique*.
1896. — **Légrand** (A.), Attaché à la *Compagnie générale des Omnibus*.
1896. — **Légrand** (E.), Docteur ès Sciences, Ingénieur au Service technique du *Crédit lyonnais*.
1898. — **Légrand** (J.), Chef du Laboratoire à la *Station centrale d'Électricité d'Amiens*.

1903. — **Legras** (C.-M.).
1902. — **Lehire** (M.-J.-A.), Dessinateur au bureau des études de la *Compagnie du Chemin de fer P.-L.-M.*
1901. — **Lemerle** (H.).
1896. — **Lemonnier** (G.-L.), Chef du service des études et travaux des *Chemins de fer d'intérêt local du Tarn*, à Castres.
1898. — **Léo** (F.-H.-A.), Inspecteur de l'exploitation à la *Compagnie du Chemin de fer du Nord*.
1899. — **Léonard** (C.-J.), Ingénieur, attaché aux *Établissements Postel-Vinay*.
1900. — **Lescure** (P.).
1900. — **Le Soufaché** (J.-P.-M.), Associé de la *Maison F. Grimault, Le Soufaché et Félix* (anciens *Établissements Henri Rouart*).
1901. — **Lesouhaitier** (R.-H.-J.), Professeur d'Électricité industrielle à l'*École pratique d'industrie de Montbéliard* (Doubs).
1902. — **Lesueur** (A.-M.-S.), Capitaine d'artillerie, *Manufacture d'armes de Saint-Étienne*.
1895. — **Letheule** (P.-L.), Ingénieur à la Section française d'Électricité de l'Exposition de Saint-Louis (États-Unis).
1902. — **Leveau** (J.-G.-G.), Dessinateur à la *Compagnie d'Électricité d'Angers et extensions*.
1901. — **Leyvraz** (L.), Ingénieur-surveillant à la *Construction du Chemin de fer électrique Montreux-Oberland bernois*.
1898. — **Lezaud** (M.-P.-A.).
1899. — **Liouville** (A.-L.), Ingénieur à la *Maison Hillairet-Huguet*.
1895. — **Lolivier** (G.), Ingénieur du Gouvernement roumain.
1899. — **Louis** (C.), Ingénieur à la *Compagnie électrothermique Keller-Leleux et Cie*
1899. — **Louvrier** (F.), Ingénieur à la *Compañía explotadora de las Fuerzas hidro-electricas de San-Ildefonso* (Mexique).
1901. — **Loye** (G.), Ingénieur au bureau des études financières du *Crédit lyonnais*.
1900. — **Lucas de Peslouan** (C.), Ingénieur-conseil (traction et éclairage, force motrice).
1902. — **Macaire** (V.-L.-J.), Capitaine du Génie, attaché au *Dépôt central de Télégraphie militaire*.
1901. — **Madeline** (M.), Lieutenant d'artillerie, détaché à la Division technique à l'*École d'application de Fontainebleau*.
1895. — **Mailly** (P.-M.), Ingénieur à la *Società anonima di Esplorentie di Prodotti chimici*.
1896. — **Mainfroy** (P.), Entrepreneur de plomberie et d'électricité.
1899. — **Malaussène** (A. de), Chef du *Service électrique de l'usine d'Oran* (*Compagnie centrale d'éclairage par le gaz*).
1900. — **Marec** (E.), Ingénieur de la *Maison G. et A.-B. de la Mathe* (câbles et fils électriques).
1896. — **Mariage** (L.-A.), Ingénieur en chef des services techniques de la *Compagnie générale des Omnibus*.
1903. — **Marie-Saint-Germain** (J.-J.), Dessinateur à la *Maison Serpollet*.
1902. — **Marqueyrol** (M.-D.), Ingénieur de l'État (Poudres et Salpêtres).

1902. — **Marsalès** (J.-P.-J.), Directeur de la *Société d'Éclairage et de Force motrice de Brive* (Corrèze).
1903. — **Martin** (J.-L.-P.-G.).
1899. — **Marty** (A.-M.-J.), Attaché à la *Compagnie des Chemins de fer du Midi*.
1903. — **Massias-de-Bonne** (A. de).
1900. — **Mathieu** (P.-H.), Professeur de Physique.
1897. — **Mauduit** (A.), Ingénieur chargé de conférences à l'*Institut électrotechnique de la Faculté des Sciences de Nancy*.
1902. — **Mayer** (N.-V.-P.).
1901. — **Meirelles-da-Silva** (L.), Ingénieur-électricien à Bahia (Brésil).
1902. — **Menuau** (C.-L.), Capitaine d'Artillerie.
1900. — **Mercier** (R.-M.-A.), Ingénieur à la *Compagnie continentale pour la fabrication des compteurs*.
1898. — **Métaxas** (C.), Ingénieur en chef de la *Société hellénique d'Électricité (système Thomson-Houston)*, à Athènes.
1898. — **Methlin** (E.), Capitaine d'Artillerie, détaché à l'*Atelier de Construction de Puteaux*.
1898. — **Meunier** (G.-A.), Ingénieur aux *Acéries de France*, à Isbergues.
1899. — **Meunier** (P.-M.), Ingénieur à la *Compagnie générale d'Électricité de Creil*.
1899. — **Meyer**.
1898. — **Michel** (A.), Attaché à *Compagnie du Chemin de fer métropolitain*.
1898. — **Michel** (L.), Ingénieur à la *Compagnie de Fives-Lille*.
1900. — **Mille** (J.), Ingénieur à la *Maison Hillairet-Huguet*.
1902. — **Milon** (H.), Ingénieur des Télégraphes.
1901. — **Mongin** (E.-P.), Attaché au Laboratoire de M. Boucherot.
1903. — **Moreau** (J.-D.-A.), Attaché à la *Société française A. E. G.*
1900. — **Morel** (C.), Attaché au Cabinet d'ingénieur civil de M. P. Germain, à Rouen.
1899. — **Morel-Fatio** (L.), Ingénieur de la *Compagnie générale de Travaux d'Éclairage et de Force*.
1899. — **Moskalew** (W.-L.).
1900. — **Mossé** (E.), Représentant à la *Compagnie générale d'Électricité de Creil*.
1899. — **Nathan** (G.-A.), Ingénieur aux *Établissements Postel-Vinay*.
1903. — **Nedeff** (N.), Enseigne de vaisseau de la Marine bulgare.
1899. — **Nègre** (F.-A.-C.), Chef de travaux à l'*Institut de Physique industrielle de la Faculté des Sciences de Lille*.
1898. — **Nelson-Uhry** (E.), Ingénieur à la *Compagnie Westinghouse*.
1900. — **Neu** (H.), Ingénieur à la *Française électrique*.
1902. — **Neyreneuf** (P.-V.), Ingénieur à la *Compagnie Française des Câbles télégraphiques*.
1903. — **Nivet** (L.-A.-P.), Lieutenant de vaisseau à bord du *Duguay-Trouin*, Brest.
1899. — **Noellet** (P.-H.-L.), Directeur de la *Société électrique de Saint-Chéron* (Seine-et-Oise).
1899. — **Nouguier** (L.-A.), Capitaine d'artillerie, *Fonderie de canons de Bourges* (Service de la force motrice et de l'électricité).
1899. — **Nunès** (A.), Ingénieur à la *Société Niclausse*.
1899. — **Odent** (M.-A.).
1900. — **Ohdatchi** (G.), Mécanicien en chef de la Marine japonaise.

1900. — **Olivier (F.)**, Ingénieur aux *Ateliers de constructions mécaniques et électriques de M.M. Olivier et Cie*, à Ornans (Doubs).
1897. — **Pailliard-Turenne (P.)**, Associé de la *Maison Barbier, Benard et Turenne*.
1902. — **Palaa (P.-A.)**, Lieutenant de vaisseau, à bord du *Henri IV*, Brest.
1898. — **Palier (F.)**, Chef d'atelier à la *Société centrale d'Électricité*.
1899. — **Pamart (E.-L.)**, Ingénieur à la *Société l'Éclairage électrique*.
1899. — **Parriche**.
1903. — **Patot (H.-A.)**, Attaché à la *Compagnie du Métropolitain*.
1901. — **Patier-Duponceau (F.)**, Ingénieur au *Secteur de la Rive gauche*.
1898. — **Payan (A.)**, Ingénieur à la *Compagnie générale parisienne de Tramways*.
1898. — **Pech (L.-D.)**, Directeur de l'*Exploitation et des Travaux du port de Salonique* (Turquie).
1897. — **Peloux (A.)**, Ingénieur de MM. *Schneider et Cie*, au Creusot.
1900. — **Percepied (E.)**, Ingénieur-constructeur de travaux publics et particuliers en béton armé système *Hennebique*.
1899. — **Pernollet (S.-M.)**, Ingénieur à la *Maison Moisant, Laurent, Savey et Cie*.
1903. — **Perrier (B.)**, Ingénieur à la *Société Gramme*.
1901. — **Petit (G.)**, Ingénieur chargé du bureau de constructions de la *Compagnie électromécanique*, aux *Ateliers du Bourget* (Seine).
1902. — **Petit (G.-E.)**, Ingénieur des Télégraphes.
1900. — **Petit (H.-P.-M.)**, Chef des Services électriques de la *Compagnie de Fives-Lille*, aux *Ateliers de Givors*.
1900. — **Petit (M.-L.)**, Ingénieur-conseil.
1901. — **Petitalot (G.-L.)**, Ingénieur chez MM. *Gin et Leleux*.
1901. — **Pétropoulos (G.)**, Officier de l'Artillerie hellénique.
1895. — **Pignier (P.)**, Ingénieur au *Secteur de la Banlieue Ouest*.
1900. — **Piskiewicz (T.)**, Dessinateur au Bureau des Études électriques de la *Compagnie de Fives-Lille, Ateliers de Givors*.
1898. — **Plasse (M.)**, Ingénieur à la *Société parisienne pour l'industrie des Chemins de fer et des Tramways électriques*.
1902. — **Ployart (L.-R.)**.
1898. — **Poggi (A.-L.)**, Attaché à la *Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest*.
1900. — **Poncet (R.-G.)**, Dessinateur chez MM. *Lacroix et Cie*, constructeurs.
1901. — **Poncharra (F. de)**, Sous-Inspecteur des Services électriques de la *Compagnie du Chemin de fer du Nord*.
1899. — **Porchon (C.-P.)**, Ingénieur à la *Société des Télégraphes Multiplex* (système Mercadier).
1900. — **Porté (C.-E.)**, décédé.
1901. — **Prado (A. do)**.
1897. — **Prat (F.)**, Ingénieur de la *Maison A. et G. Martine et Cie*.
1896. — **Prétot (M.)**, Ingénieur à la *Compagnie française des Métaux*.
1902. — **Prez-Crassier (J.-M.-C. de)**, Ingénieur aux Services électriques de la *Compagnie du Chemin de fer du Nord*.
1900. — **Pröschel (J.-G.)**, Monteur-électricien aux *Mines de Carmaux*.
1902. — **Prunier (J.-E.-A.)**, Ingénieur à la *Compagnie française des Câbles télégraphiques*, à Brest.
1898. — **Racapé (A.)**.

1901. — **Ragonot** (E.-L.-M.), Ingénieur-assistant de M. *André Blondel*.
1899. — **Rambaud** (A.-F.-M.), Employé chez MM. *Guérin et fils*, banquiers à Lyon.
1902. — **Reboul** (A.-P.), Dessinateur à la *Société des Allumeurs Eisenmann*.
1901. — **Réguis** (P.-C.-M.).
1900. — **Renard** (L.-L.).
1895. — **Renou** (R.), Ingénieur à la *Compagnie Est-Lumière*.
1902. — **Reuss** (P.), Attaché aux *Établissements Postel-Vinay*.
1894. — **Revel** (J.-M.-A.), Ingénieur au Service de la Traction mécanique de la
Compagnie générale des Omnibus.
1902. — **Rey** (J.-J.-J.), Lieutenant de vaisseau, attaché à la Mission Charcot.
1899. — **Richard** (A.).
1901. — **Ricou** (C.), Directeur de la *Station centrale d'Électricité de Hanoï*.
1898. — **Rieunier** (P.-J.-A.), Ingénieur de la *Société des Émulseurs*.
1899. — **Risler** (T.-C.), Ingénieur-électricien à la *Compagnie des Chemins de fer du Nord de l'Espagne*.
1900. — **Risser**, Statisticien-adjoint à l'*Office du Travail*.
1899. — **Roberjot** (H.), Chef des Travaux d'Électricité de l'*École supérieure des Mines de Paris*.
1900. — **Roberjot** (P.), Professeur d'Électricité à l'*École pratique de Commerce et d'Industrie de Reims*.
1903. — **Rochas** (V.), Capitaine d'artillerie.
1901. — **Rodier** (P.), Ingénieur à la *Cie générale française continentale d'Éclairage*.
1896. — **Roditi** (A.).
1897. — **Romeyn** (H.-A.).
1902. — **Roos van den Berg** (M.), Attaché au Service technique de la *Compagnie des Tramways du Nord-Ouest parisien*.
1899. — **Roulland** (C.-P.-M.).
1896. — **Rouquier** (E.), Ingénieur-directeur de la *Compagnie des Tramways électriques de Hanoï* (Tonkin).
1898. — **Rousseau** (L.-A.), Chef des Services administratifs de la Traction générale à la *Société française de Constructions mécaniques*.
1899. — **Roussel** (A.), Sous-Inspecteur aux Services électriques de la *Compagnie du Chemin de fer du Nord*.
1898. — **Rouvel** (V.), Ingénieur du Service électrique à la *Société des Mines de Carmaux*.
1900. — **Rouyer** (M.-F.-C.), Capitaine d'artillerie, Chef du Service des bâtiments et machines à l'*École centrale de Pyrotechnie militaire*, à Bourges.
1902. — **Roy** (L.-M.), Préparateur à l'*École supérieure d'Électricité*.
1898. — **Sabatier** (P.-E.-R.), Contrôleur du matériel à la *Compagnie du Chemin de fer P.-L.-M.*
1901. — **Saivre** (M. de), Ingénieur chez MM. *Thirion et Bonnet*, ingénieurs-conseils en matière de propriété industrielle.
1900. — **Salomon** (C.), Ingénieur à la *Manufacture française de Tubes et Accessoires*, à la Plaine-Saint-Denis.
1902. — **Sanyas** (L.), Sous-directeur de la *Société hydro-électrique roussillonnaise*.
1899. — **Sauvage** (C.), Chef d'atelier à l'*École supérieure d'Électricité*.
1900. — **Schmitt** (H.), décédé.

1899. — **Schwab** (G.), Attaché aux Services électriques de la *Compagnie du Chemin de fer du Nord*.
1901. — **Sedziak** (F.), Ingénieur-électricien à l'*American Car Co*, à Saint-Louis.
1902. — **Séguier** (P.-A.-J. de), Lieutenant d'Artillerie.
1900. — **Sellier** (A.-E.), Attaché à l'*Atelier de précision, Section technique de l'artillerie*.
1898. — **Sire de Vilar** (H.), Ingénieur de la *Compagnie du gaz H. Riché*.
1896. — **Smidovitch** (P.).
1901. — **Soucadauch** (R.), Ingénieur à la *Compagnie générale d'Électricité*, à Albi.
1897. — **Soulaïrol** (P.), Inspecteur des Services électriques à la *Compagnie des Chemins de fer du Nord*.
1897. — **Souques** (G.), Décédé.
1899. — **Spathari** (C.), Professeur à la *Grande École nationale grecque* de Constantinople.
1901. — **Stevenin** (E.), Attaché à la *Compagnie générale du gaz pour la France et l'étranger*.
1900. — **Sudria**, Professeur à l'*École pratique d'Électricité industrielle*, Paris.
1898. — **Tadié** (L.), Lieutenant de vaisseau, chargé du *Service de l'électricité*, Arsenal de Cherbourg.
1899. — **Taffoureau** (E.), Attaché au bureau des études de la *Maison de Dion, Bouton et Cie*.
1897. — **Tassain** (E.-L.), Directeur de la *Station centrale d'électricité de Troyes*.
1902. — **Taubé** (G. de), Ingénieur à l'*Aktien-Elektricitäts gesellschaft*, Berlin.
1897. — **Tchernosvitoff** (N.), Ingénieur au Laboratoire des essais de la *Société l'Éclairage électrique*.
1894. — **Tenin** (M.-P.), Directeur de la *Société anonyme des Engrais complets*.
1900. — **Térékhow-Bagriéïew** (S.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Kiew.
1901. — **Terme** (M.-J.-E.), Sous-inspecteur de traction à la *Compagnie des Chemins de fer de l'Est*.
1900. — **Terriet** (L.).
1897. — **Tétrérel** (A.), Attaché au matériel et à la traction de la *Compagnie des Chemins de fer d'Orléans* (services électriques).
1901. — **Texier-Bernier** (G.-M.), Attaché aux *Établissements Postel-Vinay*.
1902. — **Thélin** (J. de), Ingénieur-électricien, à Tarbes.
1899. — **Thiébaud** (V.), Ingénieur au *Comptoir national d'Escompte*.
1903. — **Thielemans** (L.-J.-P.-M.), Attaché à la *Société l'Éclairage électrique*.
1899. — **Thiriet** (J.-B.), Ingénieur chef du département technique de la *Compañia explotadora de las Fuerzas hidro-electricas de San-Ildefonso* (Mexique).
1898. — **Thomine** (F.), Lieutenant de vaisseau.
1898. — **Ticier** (A.), Directeur général de la *Société d'Éclairage électrique de Bordeaux et du Midi*.
1903. — **Tirrolloy** (A.-C.).
1898. — **Tollu** (A.-J.-P.), Ingénieur à la *Cie générale de Constructions électriques*.
1902. — **Touilleux** (E.-A.).
1902. — **Trouilhet** (L.), Ingénieur à la *Société d'éclairage intensif*.
1896. — **Tunis** (L.), Ingénieur à la *Maison Huré*.

1902. — **Valbreuze** (R. de), Attaché à l'*Établissement central de Télégraphie militaire*, Paris.
1897. — **Valéry** (A.), Ingénieur de la *Maison Falconnet, Pérodeaud et Cie* (Manufacture générale de caoutchouc et gutta-percha).
1894. — **Vasesco** (D.), Ingénieur dans les *Ateliers des Chemins de fer de l'État roumain*.
1899. — **Vasilescu-Karpen** (N.), Docteur ès Sciences, Ingénieur au service du Ministère des Travaux publics de Roumanie.
1898. — **Vaublanc** (C. de), Ingénieur à la *Cie générale d'accumulateurs et de traction*.
1895. — **Vaucheret** (A.), Ingénieur chez *M.M. Schneider et Cie*, Direction de l'artillerie.
1902. — **Véchembre** (M.), Ingénieur-directeur de la *Station électrique de Marsac*.
1901. — **Vexiau** (E.), Ingénieur à la *Compagnie du Chemin de fer métropolitain*.
1902. — **Vidal** (A.-J.-A.), Professeur à l'*École nationale professionnelle de Vierzon*.
1898. — **Viénot** (G.-E.-L.), Ingénieur, chef des Services électriques à la *Compagnie du gaz de Reims*.
1902. — **Vincent** (H.), Ingénieur-représentant à la *Société industrielle des Téléphones*.
1901. — **Vincent** (J.), Attaché aux Services électriques de la *Compagnie du Chemin de fer du Nord*.
1900. — **Vincent** (P.), Ingénieur à la *Société Westinghouse*, au Havre.
1898. — **Vinson** (J.), Attaché d'inspection à la *Cie des Chemins de fer de l'Ouest*.
1901. — **Violland** (A.-C.), Capitaine d'artillerie coloniale.
1901. — **Violot** (R.).
1902. — **Volumard** (M.), Dessinateur à la *Société industrielle des Téléphones*.
1900. — **Vulcanesco** (G.-M.), Ingénieur des constructions civiles.
1902. — **Wattelet** (J.-E.), Attaché à la *Société industrielle des Téléphones*.
1900. — **Weber** (L.-C.), Ingénieur des Services électriques à la *Station centrale de Nancy*.
1903. — **Winawer** (A.).
1897. — **Witzig** (A.), Ingénieur à la *Société l'Éclairage électrique*.
1900. — **Zürcher** (F.-J.-E.).
-

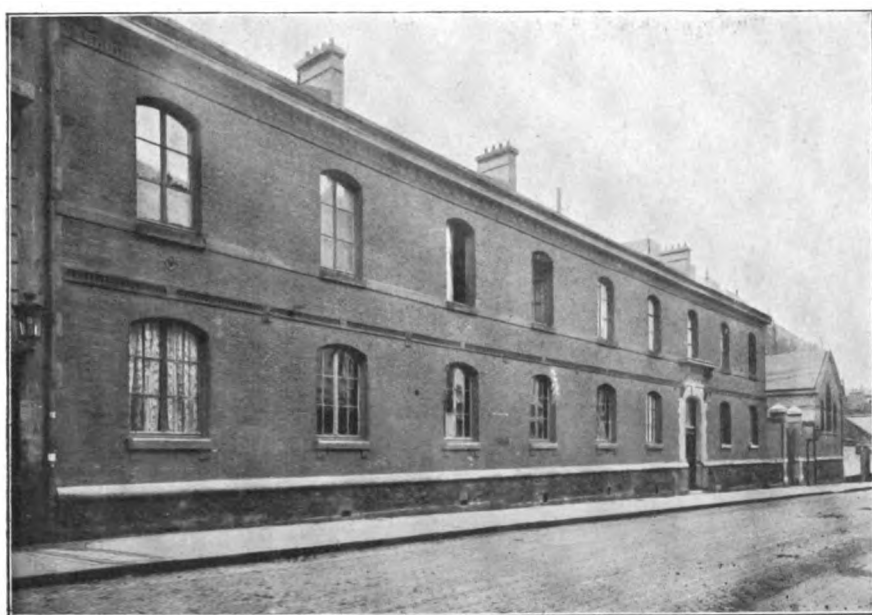


Fig. 3. — *Vue extérieure du Laboratoire.* — Les bâtiments occupent les n^{os} 8, 10, 12, 14 de la rue de Staël (XV^e arr^t), à proximité immédiate d'une station du Métropolitain. Le bâtiment principal est occupé par les salles de mesure; au deuxième plan, la salle des machines; au troisième, les nouveaux locaux acquis par la Société.



Fig. 4. — *Vue de la cour intérieure du Laboratoire.* — Au fond, le pavillon Giffard où sont situés les ateliers du Laboratoire et de l'École; ce pavillon et une partie des bâtiments voisins ont été édifiés grâce aux fonds spéciaux du legs Henry Giffard. A droite la salle des machines.

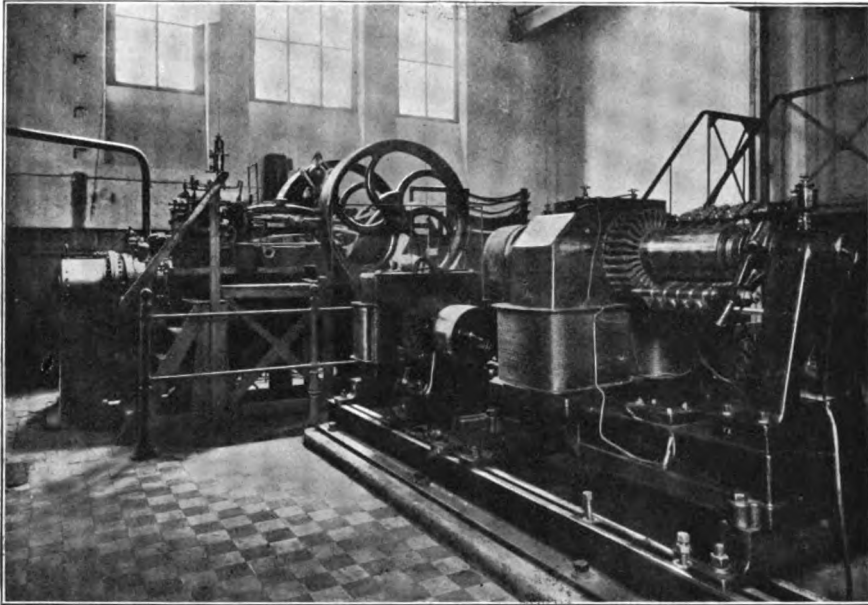


Fig. 5. -- *Extrémité gauche de la salle des machines.* — Au fond, machine à vapeur type demi-fixe Weyher et Richemond compound de 25 chx.

Au premier plan, une dynamo à courant continu Sautter-Lemoulière de 15 kilowatts et une dynamo bipolaire Phénix pouvant donner 1200 ampères sous 30 volts.

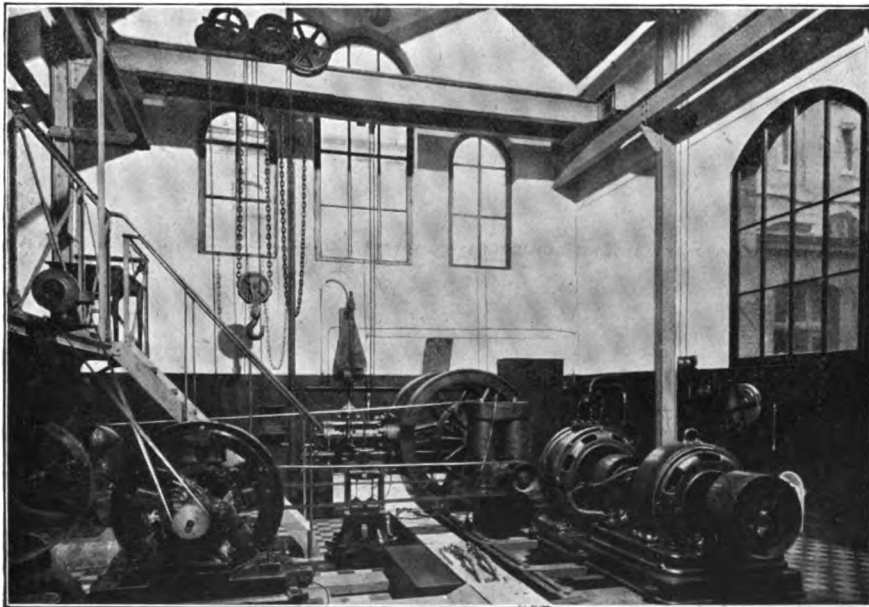


Fig. 6. — *Extrémité droite de la salle des machines.* — Au fond, moteur à gaz Charon de 16 chx. A gauche, alternateur polymorphe de la Société l'Éclairage électrique, d'une puissance de 15 kilowatts, entraîné par un moteur à courant continu du type Edison.

Au premier plan, un groupe moteur asynchrone monophasé, dynamo à courant continu de la Compagnie générale électrique de Nancy, puissance 7,5 kilowatts. En haut, un pont roulant de 6 tonnes permettant le déplacement facile des machines.

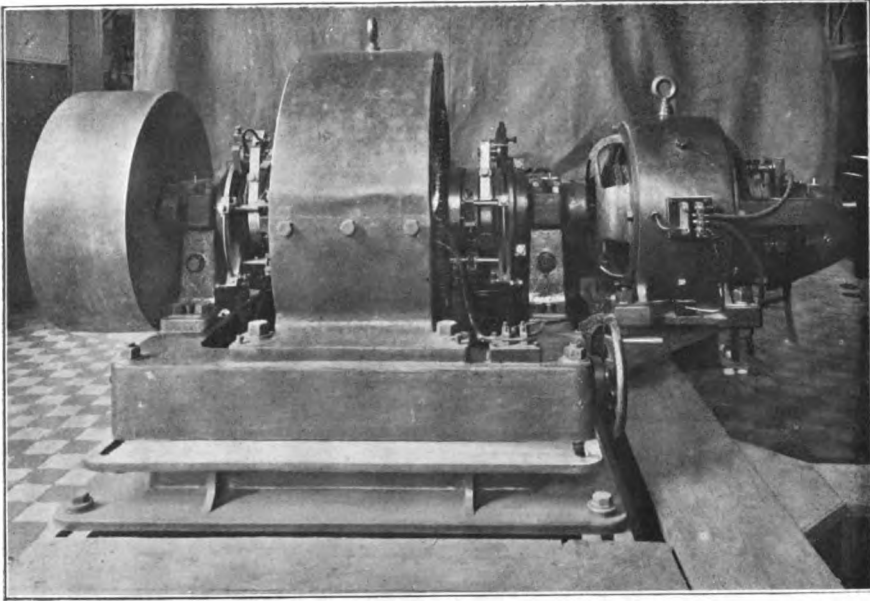


Fig. 7. — Moteur synchrone monophasé Hillairet-Huguet avec excitatrice en bout d'arbre et amortisseur Leblanc (puissance 50 kilowatts). — Ce moteur est alimenté par le Secteur de la rive gauche. L'enroulement de l'induit est triphasé; pour la marche en monophasé, deux circuits sont en série, le troisième inutilisé; la machine peut servir, soit de générateur triphasé, soit de convertisseur de monophasé en triphasé.

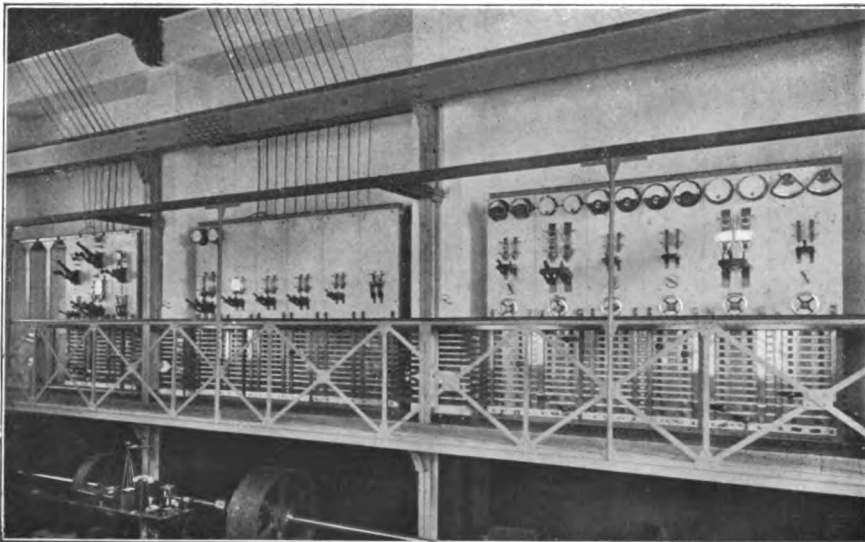


Fig. 8. — Vue générale du tableau de la salle des machines. — Le principe de ce tableau, construit par la Société industrielle des Téléphones, est celui du commutateur suisse; les barres horizontales et verticales se voient à la partie inférieure; mais les connexions, au lieu de se faire au moyen de fiches, se font au moyen de pièces spéciales feuilletées en forme de V, assurant un excellent contact. A droite, panneaux des machines; au milieu, panneaux de départ des lignes; à gauche, panneaux de charge des batteries avec disjoncteurs; au fond, trois panneaux en attente.

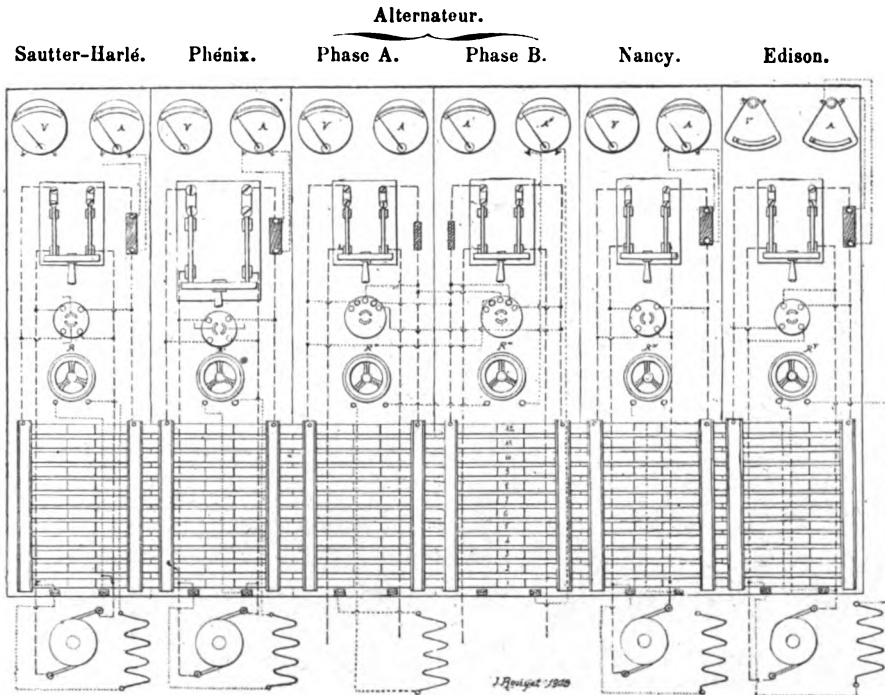


Fig. 9. — *Schéma des panneaux de machines du tableau général.* — A chaque machine correspond un panneau comprenant simplement ampèremètre, voltmètre, interrupteur bipolaire avec fusibles, commutateur de voltmètre, rhéostat de champ. A la partie inférieure, les barres de connexion du tableau suisse.

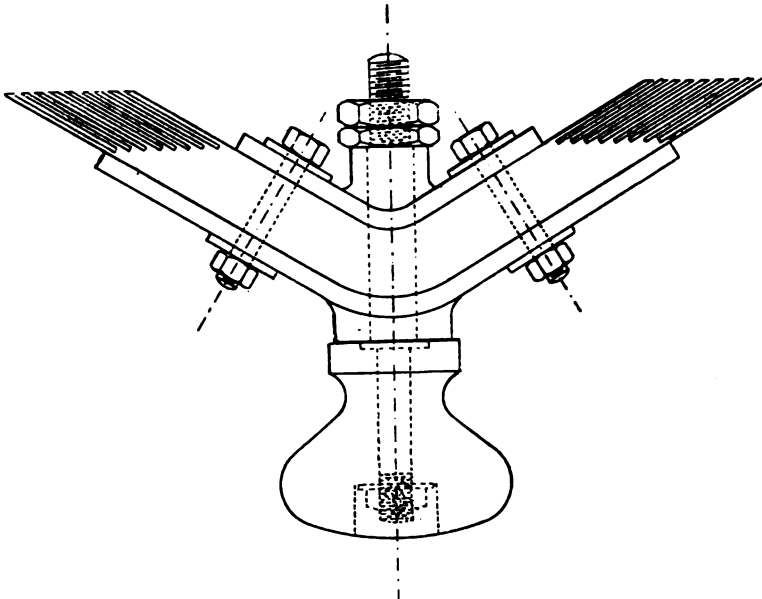


Fig. 10. — *Détail d'une des prises de contact servant à connecter les barres des machines avec les barres de distribution.* — Les contacts entre barres horizontales et verticales se font au moyen de pièces feuilletées, et une forte pression est assurée par la vis que l'on voit au centre. Les contacts sont aussi bons que ceux des meilleurs interrupteurs; ils sont prévus, les uns pour des courants de 500 ampères, les autres pour des courants de 200 ampères.



Fig. 11. — *Salles des accumulateurs du Laboratoire.* — A droite, une batterie d'éléments Tudor de 66 éléments (capacité, 150 ampères-heure); au centre, une batterie de 66 éléments Geoffroy-Delore (capacité, 120 ampères-heure); et à gauche, une batterie d'éléments Blot (capacité, 300 ampères-heure). Au fond, se voient les connexions de la face arrière du tableau de distribution dont la figure suivante donne la face avant dans la salle voisine. Les quatre gros éléments Tudor de la figure 13 ne sont pas visibles ici.

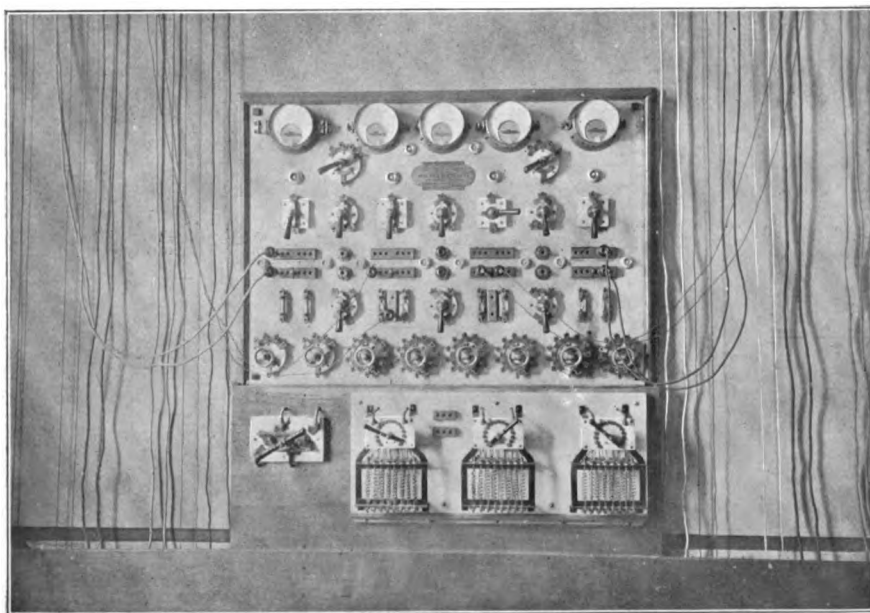


Fig. 12. — *Tableau secondaire pour la distribution du courant continu dans le Laboratoire.* — A chaque batterie d'accumulateurs correspondent deux réducteurs, de sorte qu'on peut disposer simultanément de tensions extrêmement variées; les prises de courant se font par fiches et cordons souples; les diverses lignes que l'on voit à droite et à gauche du tableau desservent les diverses salles du Laboratoire.

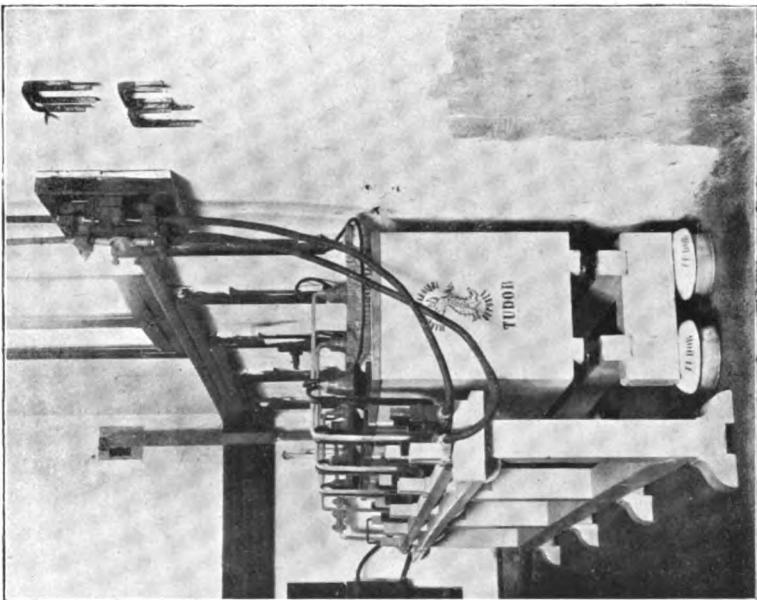


Fig. 13. — Quatre gros éléments Tudor. — Ces éléments servent pour les étalonnements d'ampères-mètres; ils peuvent débiter 1000 ampères sous 8 volts ou 4000 ampères sous 2 volts; à gauche, barre et godets de couplage.

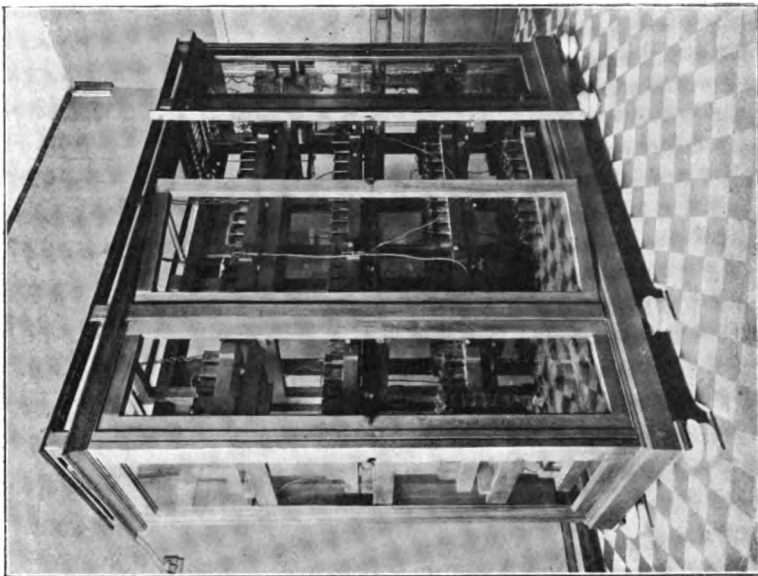


Fig. 14. — Batterie de 500 petits accumulateurs Invieta pour l'étalonnement des voltmètres (capacité : 5 ampères-heure). — Ces éléments peuvent débiter 1 ampère; un commutateur spécial, que l'on verra à la page suivante, permet de prendre des tensions quelconques entre 0 et 1000 volts par fraction de 2 volts.

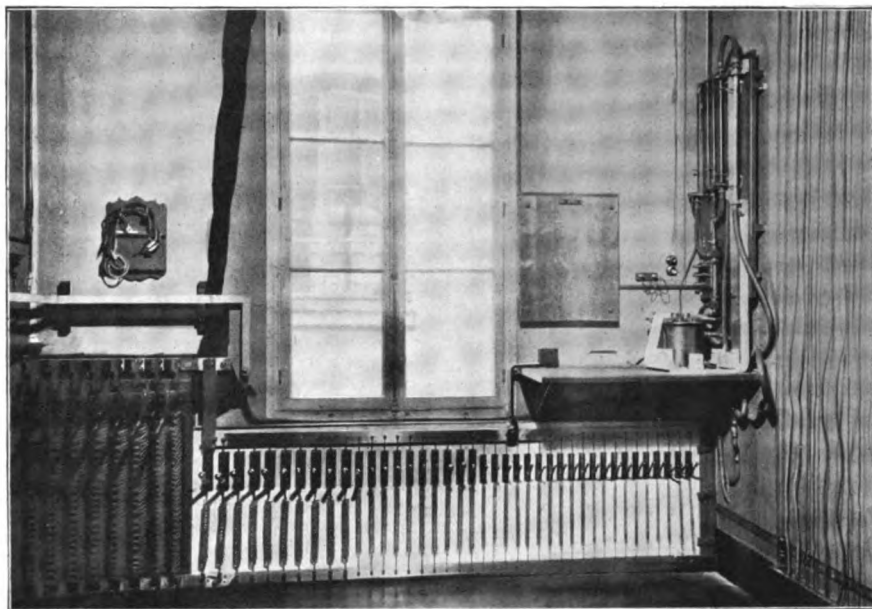


Fig. 15. — *Rhéostat et résistances pour l'étalonnage des ampèremètres et des compteurs.* — A droite, le tableau des résistances étalons à circulation d'eau (dixième, centième et millième d'ohm); sur la tablette, la cuve à pétrole contenant le dix-millième d'ohm et les godets de mercure permettant de faire les connexions. A la partie inférieure, le rhéostat avec résistances en parallèle permettant de faire varier progressivement l'intensité du courant à mesurer.

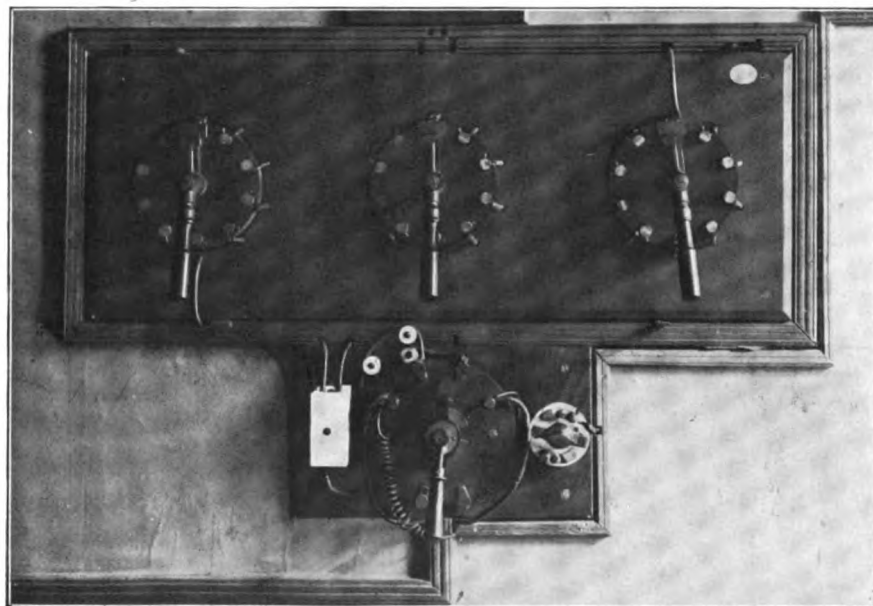


Fig. 16. — *Réducteur à nombre de plots réduit pour l'étalonnage des voltmètres.* — Les éléments de la batterie Invieta, représentée à la page précédente, sont montés en décades; et les trois commutateurs montés sur ébonite que l'on voit ici correspondent aux unités, aux dizaines et aux centaines d'éléments; on obtient ainsi rapidement toutes les tensions entre 0 et 1000 volts. A la partie inférieure, un inverseur de pôles.

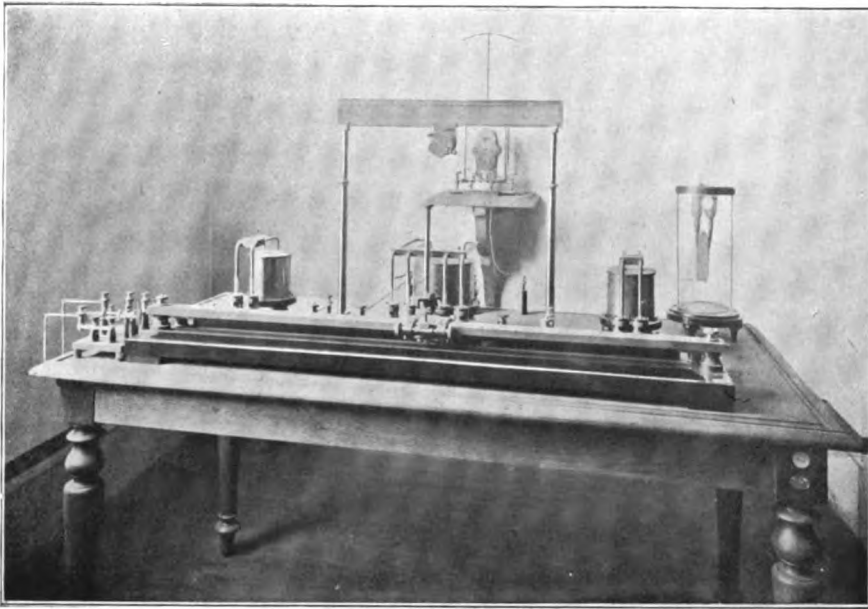


Fig. 17. -- Pont à fil de laiton pour la comparaison des résistances de l'ordre de l'ohm par la méthode de M.M. Mascart, Benoit et de Nerville, et galvanomètre Thomson servant d'appareil de zéro. -- Sur la table, un ohm étalon en mercure, des ohms et des bras de proportion en maillechort.

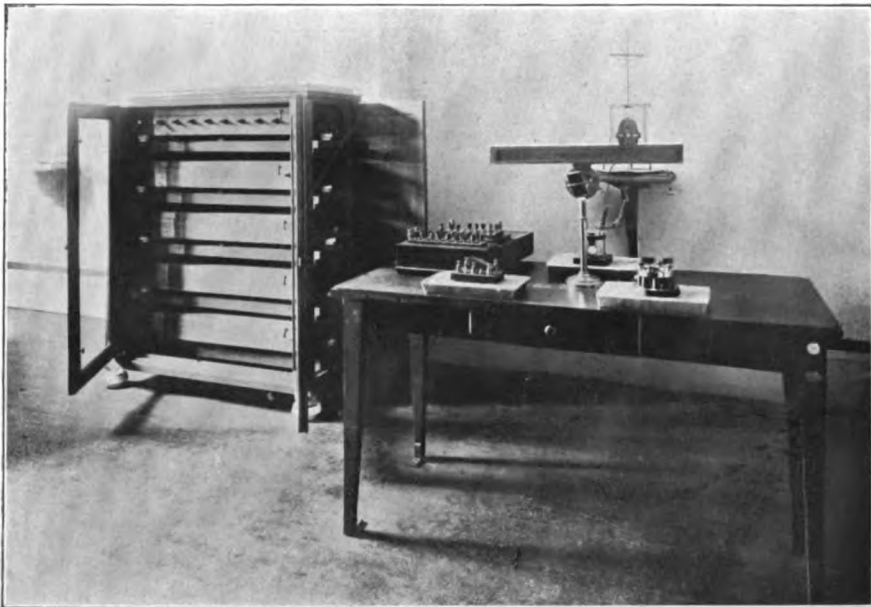


Fig. 18. — Installation pour la détermination des isollements par la méthode de la déviation. — Au fond, le galvanomètre du type Thomson construit par Carpentier, d'une sensibilité de 17000 mégohms. A gauche, un meuble soigneusement isolé contenant 5 boîtes de 100 éléments de piles Delafon permettant d'opérer sous des tensions de 750 volts. La table de mesure est entièrement recouverte d'une planche d'ébonite.

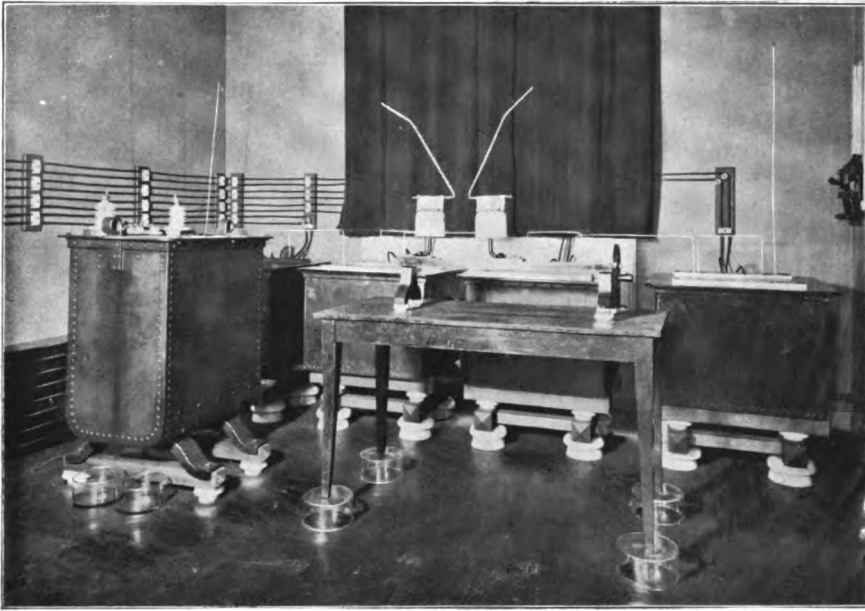


Fig. 19. — *Salle de la haute tension.* Au fond, 4 transformateurs de la Société l'Éclairage électrique, 110/15000 volts, d'une puissance de 5 kilowatts chacun. Le groupement des 4 primaires en parallèle et des 4 secondaires en série permet de réaliser une tension de 60000 volts avec une puissance de 20 kilowatts. Ces appareils servent surtout pour étudier les divers types d'isolateurs.

A gauche, un transformateur de 110/60000 volts, d'une puissance de 5 kilowatts, offert au Laboratoire par la Société d'Applications industrielles. Tous ces appareils, mis en tension, permettent de disposer de 120000 volts.

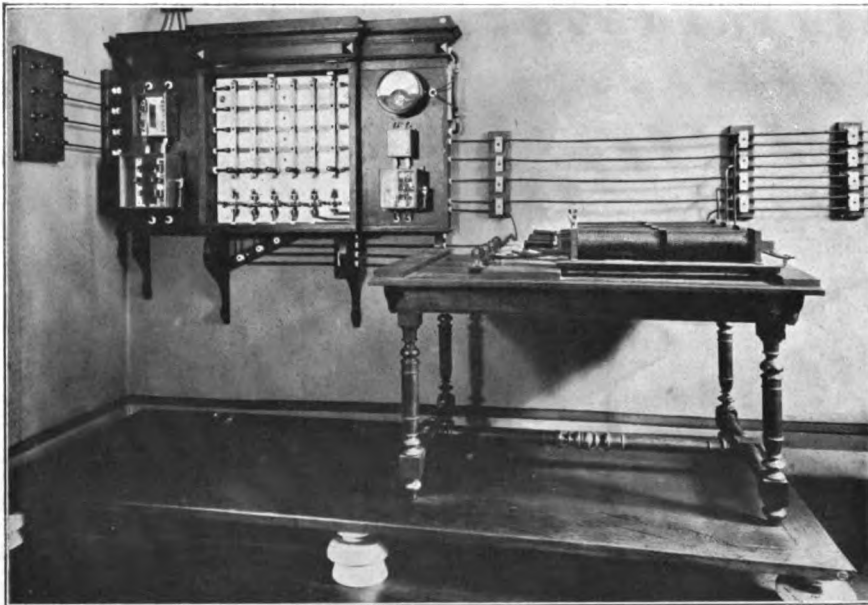


Fig. 20. — *Salle de la haute tension.* — Commutateur suisse permettant de grouper de différentes façons les primaires des 4 transformateurs ci-dessus, de façon à pouvoir les utiliser en courant mono-, bi- ou triphasé; sur la table, bobine de self-induction à noyau de fer mobile pour le réglage de la tension aux bornes des transformateurs; ces bobines permettent de faire monter la tension très progressivement et sans aucun à-coup.

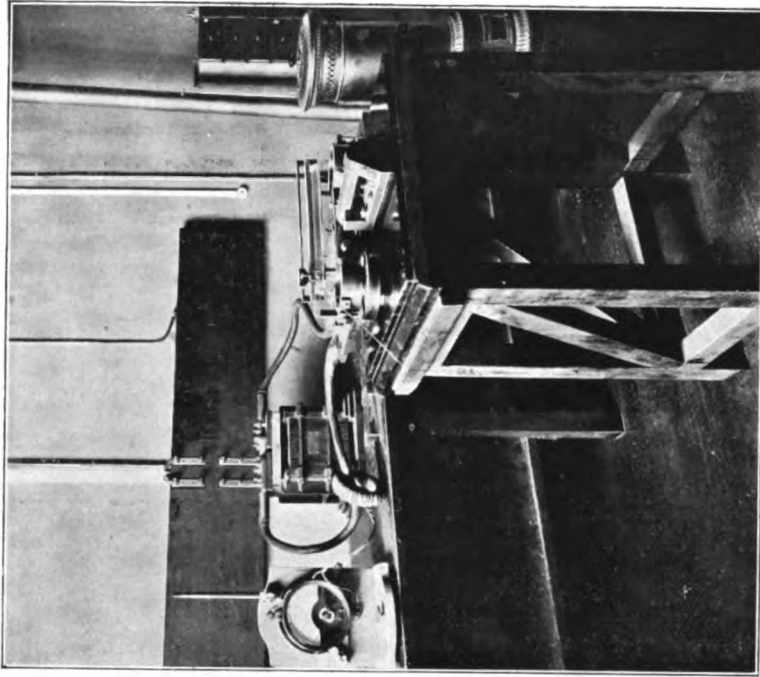


Fig. 30. — Transformateur à grande intensité de la Société l'Éclairage électrique (110 4 volts, 8 kilowatts). — Ce transformateur permet l'établissement jusqu'à 3000 ampères des ampèremètres à courant alternatif; en avant, la balance kilo-ampère de lord Kelvin; sur la table, l'anneau de tôle, avec son circuit secondaire et son ampèremètre, servant aux mesures.

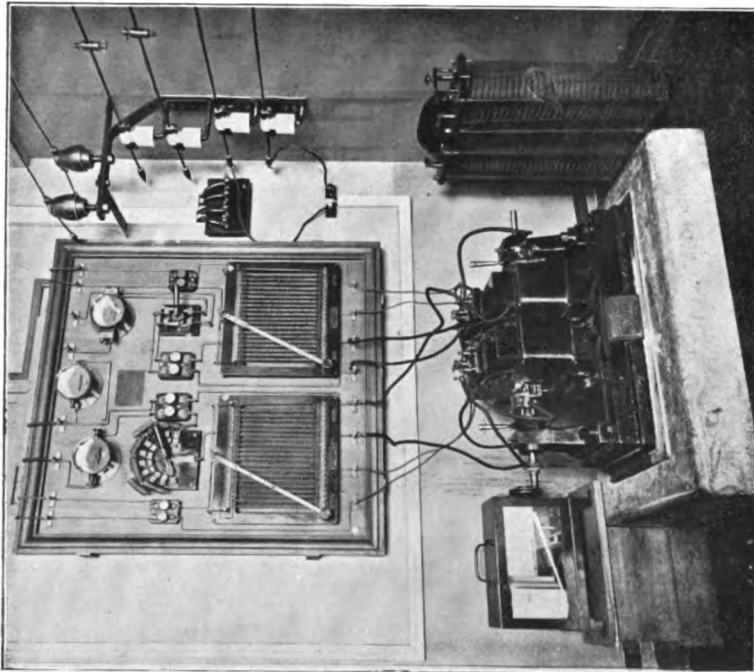


Fig. 31. — Petit groupe transformateur (moteur à courant continu, alternateur) de la Société l'Éclairage électrique (puissance : 1 kilowatt). — Ce groupe permet d'obtenir des tensions et des fréquences très variées. Au fond, un transformateur Gaulard qui est actuellement au musée historique.

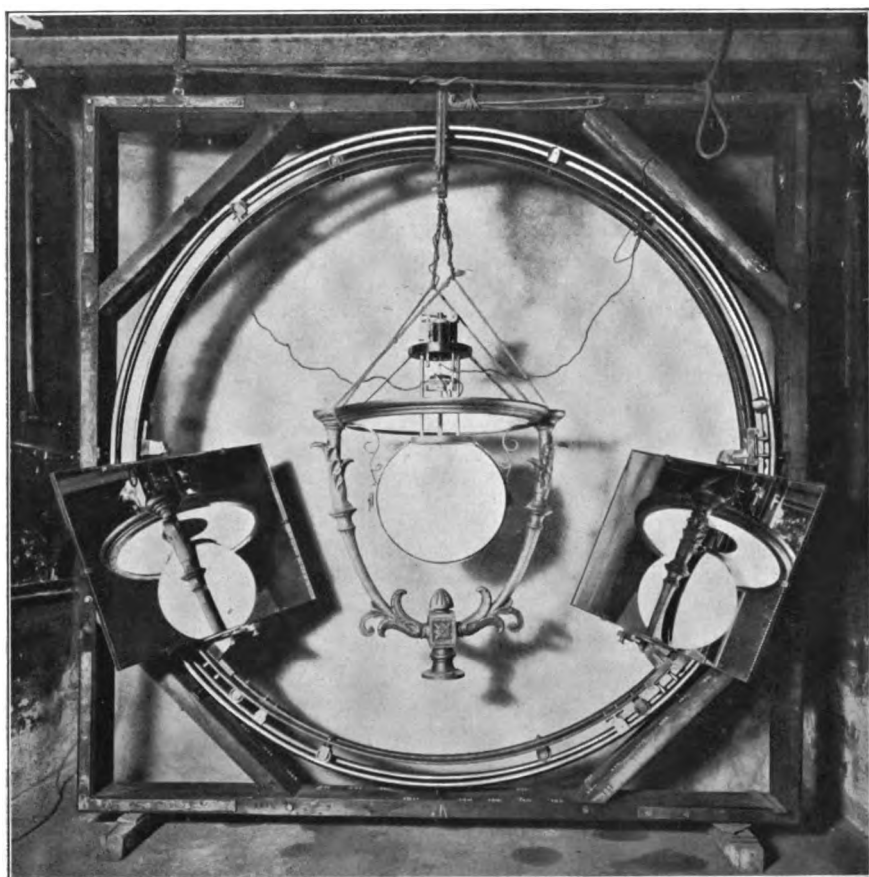


Fig. 23. - Appareil à deux miroirs pour la détermination de la courbe de répartition lumineuse d'une lampe à arc dans un plan vertical.



Fig. 24. — Salle de photométrie des lampes à incandescence. - A droite, banc photométrique de 3 m de long avec photomètre de Lummer et Brodhun. A gauche, appareils de mesure et rhéostats de réglage.

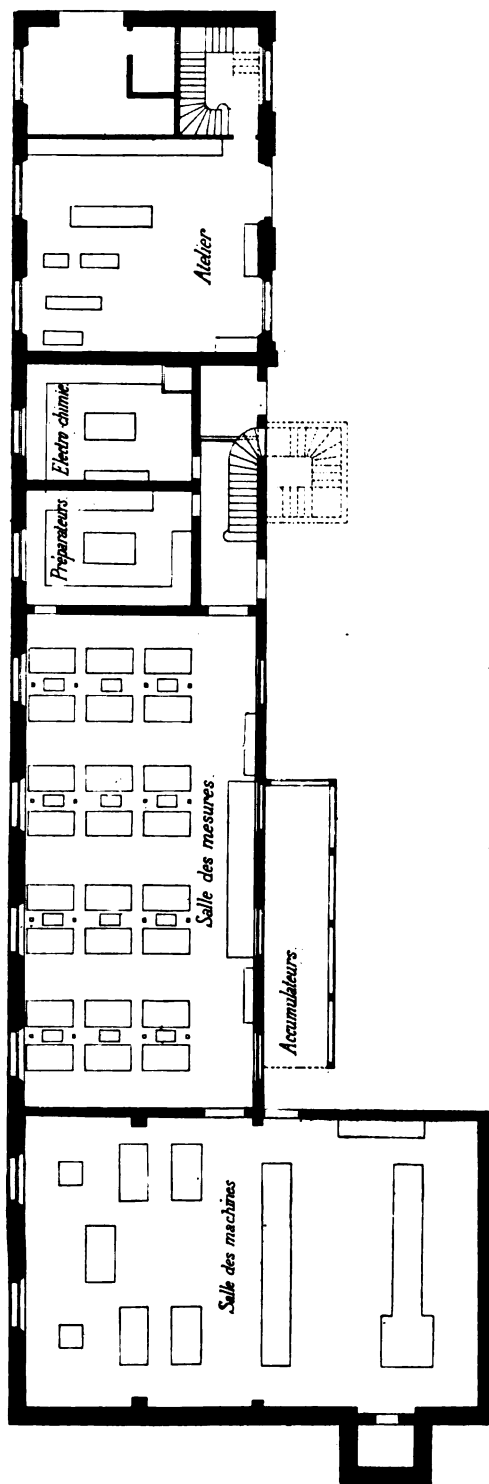


Fig. 25. — Plan de l'École Supérieure d'Électricité; rez-de-chaussée.

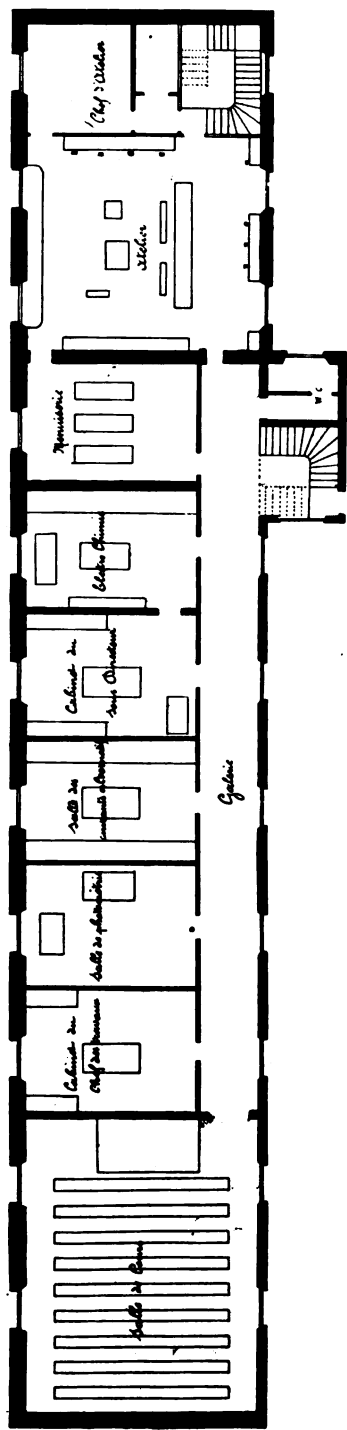


Fig. 26. — Plan de l'École Supérieure d'Électricité; premier étage.



Fig. 29. — *Vue extérieure de l'École; façade sur la rue Ernest-Renan (longueur 50 m).* — Au premier plan, salle des machines du Laboratoire; au deuxième, pavillon Giffard renfermant les ateliers de l'École; au troisième, bâtiment principal comprenant, au rez-de-chaussée, la grande salle de mesures et la salle de machines des élèves; au premier étage, des salles de mesures et la salle de cours; au deuxième, les salles de travail des élèves.



Fig. 30. — *Bibliothèque de la Société Internationale des Électriciens.* — Les Élèves de l'École y sont admis tous les jours; la Bibliothèque reçoit tous les Ouvrages français et les principaux Ouvrages étrangers concernant l'Électricité; tous les périodiques importants français, allemands et anglais sont, chaque semaine, déposés sur la table de lecture dès leur arrivée.

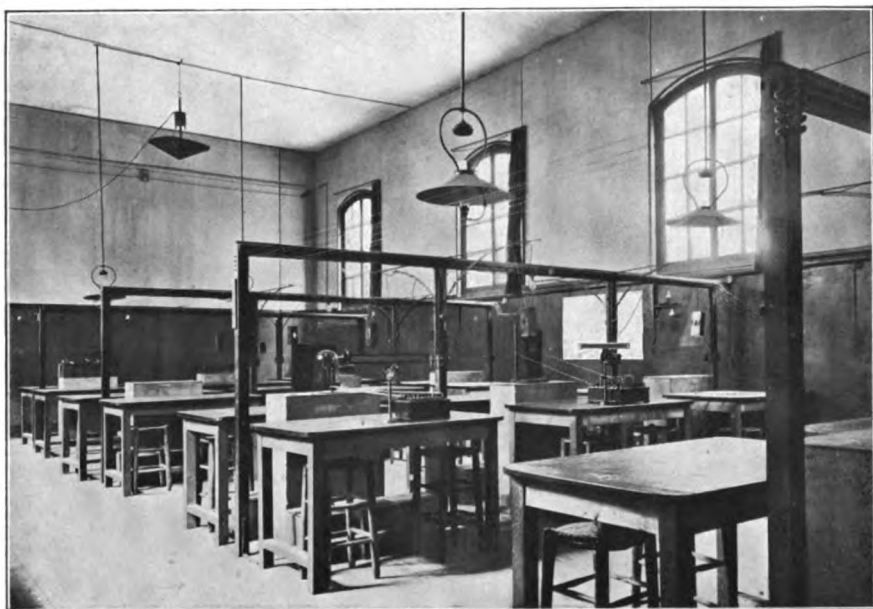


Fig. 31. — Grande salle des mesures pour les travaux de Laboratoire. — Chaque groupe de deux élèves a à sa disposition une table solide et un pilier de maçonnerie pour recevoir les galvanomètres; l'éclairage des échelles divisées se fait au moyen de lampes à incandescence suspendues dans des boîtes en carton; l'éclairage de la salle se fait par arcs renversés.

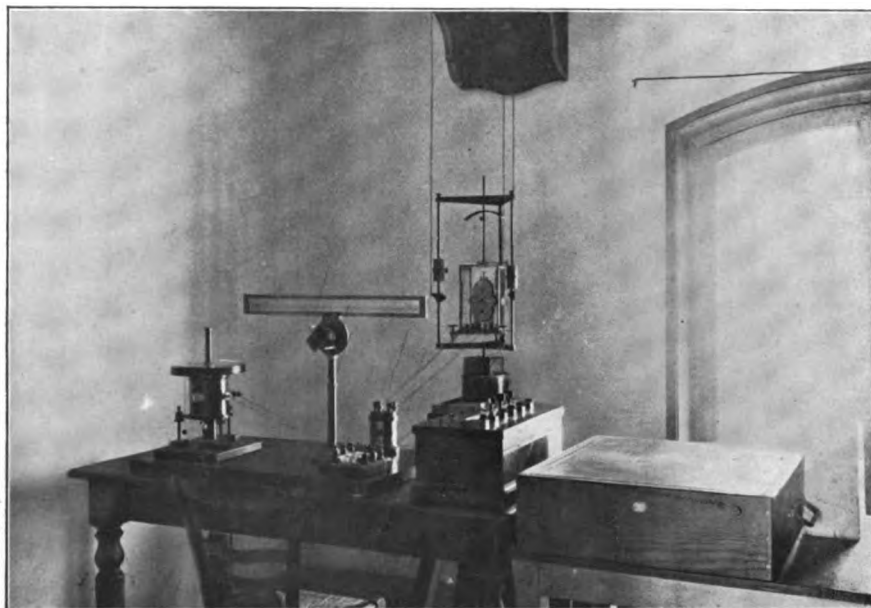


Fig. 32. — Une salle particulière de mesures. — On a choisi sur cette figure la salle destinée aux mesures d'isolement; au fond, galvanomètre Thomson soustrait aux vibrations par une suspension Julius. Au premier plan, boîte de piles sèches, mégohm, shunt, électromètre multicellulaire.

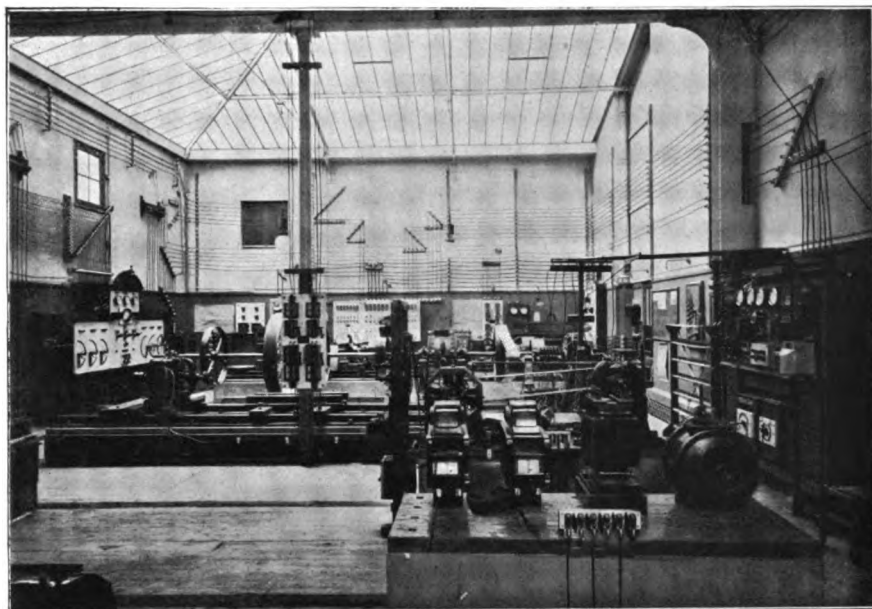


Fig. 33. — *Vue générale de la salle des machines de l'École.* — C'est là que les élèves effectuent toutes les mesures industrielles relatives aux essais de machines; ils exécutent eux-mêmes tous les montages nécessaires et s'habituent aux opérations courantes des plates-formes d'essais. Quelques détails de la salle se trouvent dans les vues suivantes.

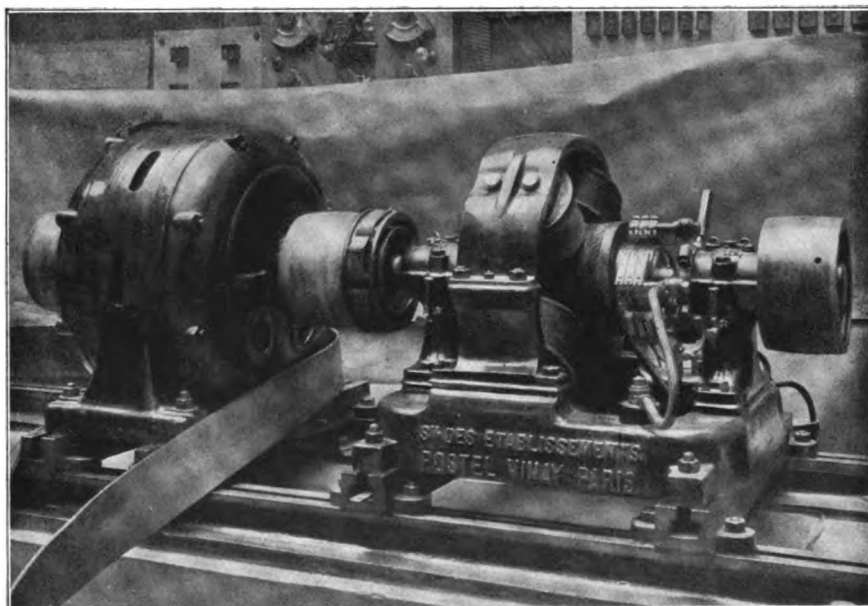


Fig. 34. — *Groupe transformateur Postel-Vinay composé de :* 1 moteur synchrone monophasé, 20 kilovolts-ampères, 220 volts, 1260 t.m, 42 ~, alimenté par le Secteur de la rive gauche; 1 générateur à courant continu 130-160 volts, 96 ampères.

Le manchon d'embrayage des deux machines forme poulie pouvant transmettre la puissance totale des deux machines.

Schéma du tableau de distribution, groupe
Postel-Vinay

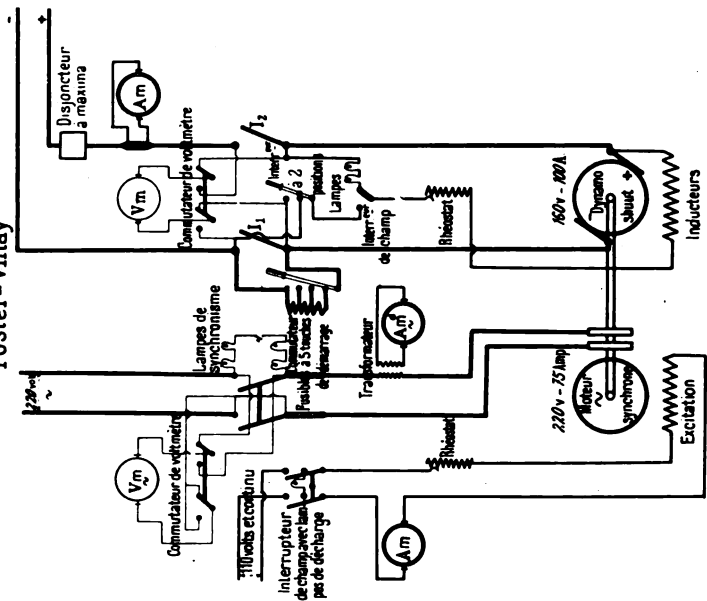


Fig. 35. — Schéma du tableau de mise en marche du groupe précédent. — La mise en marche se fait par la machine à courant continu fonctionnant en moteur et alimentée par les accumulateurs.

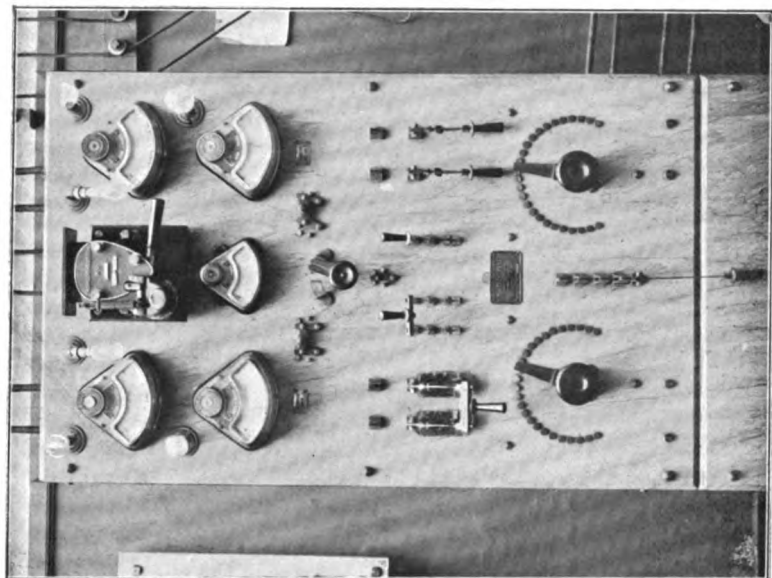


Fig. 36. — Vue du même. — A droite, appareils à courant continu ; à gauche, appareil à courant alternatif. La manœuvre de ce tableau habitue les élèves aux opérations de mise en phase et de couplage d'alternateurs.

Tableau de couplage des transformateurs

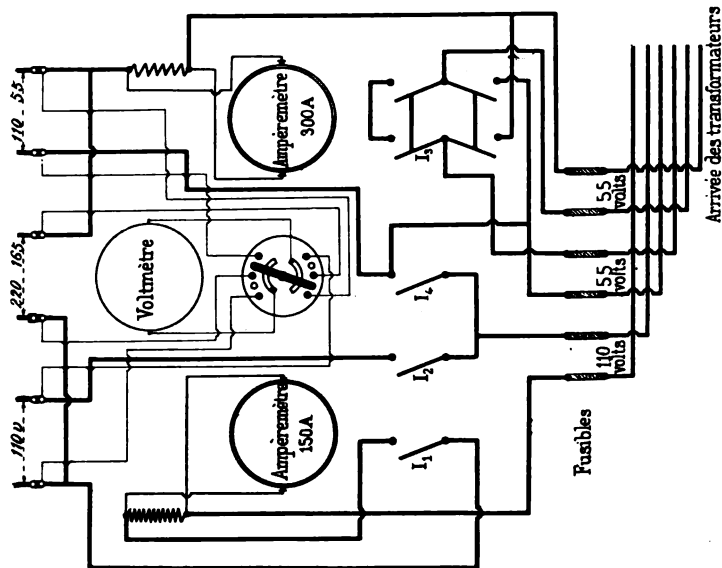


Fig. 37. — Schéma du tableau de distribution du courant alternatif du Secteur de la rive gauche. — Ce tableau permet, sans fausse manœuvre possible, le couplage des secondaires des trois transformateurs du Secteur; on peut ainsi obtenir, suivant les besoins, 55, 110, 165 et 220 volts; débit maximum, 300 ampères.

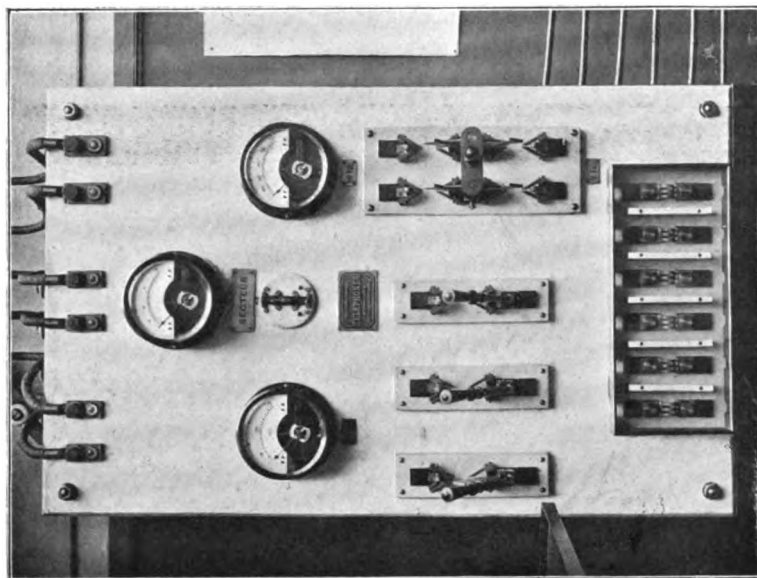


Fig. 38. — Vue du même. — On fera correspondre sans peine les organes de ce tableau avec le schéma précédent.

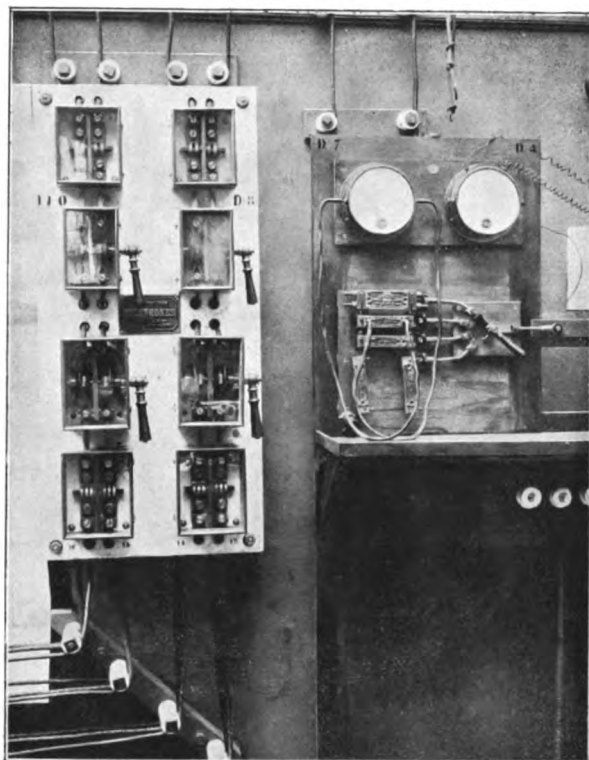


Fig. 39. — *Tableau d'élèves à 4 lignes, et tableau d'étalonnage.* — Les élèves ont à leur disposition, dans les différentes parties de la salle, des tableaux analogues au tableau de gauche; à droite, tableau muni d'appareils Chauvin et Arnoux (ampèremètre et voltmètre) pour l'étalonnage des appareils employés aux essais. Les appareils Chauvin et Arnoux sont périodiquement contrôlés.

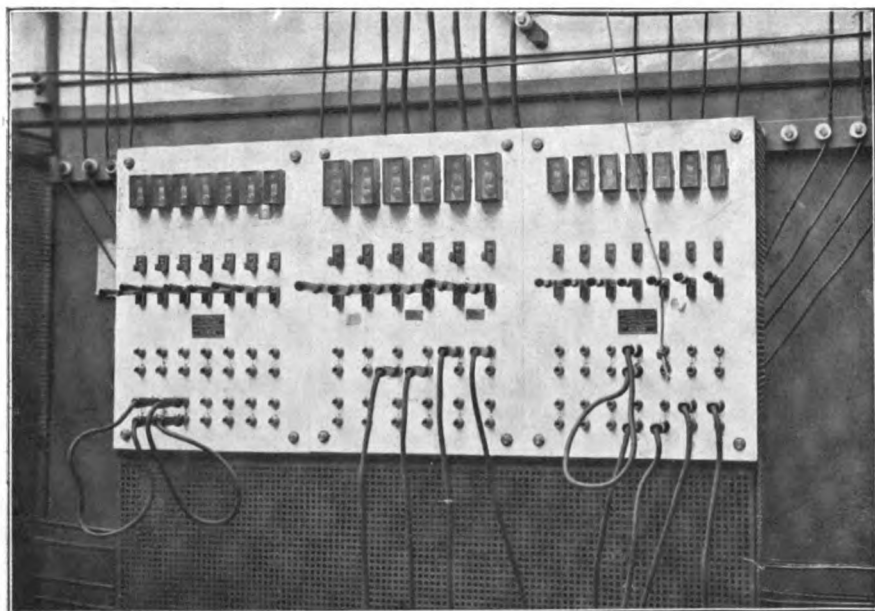


Fig. 40. — *Tableau général d'intercommunication et de couplage.* — Les lignes provenant des machines génératrices, secteur, batterie, etc. arrivent à la partie supérieure du tableau et communiquent avec les deux rangées supérieures de plots; les lignes desservant les prises de courant placées près des machines aboutissent aux deux rangées inférieures. Des prises à cordons souples permettent de réaliser tous les couplages possibles.

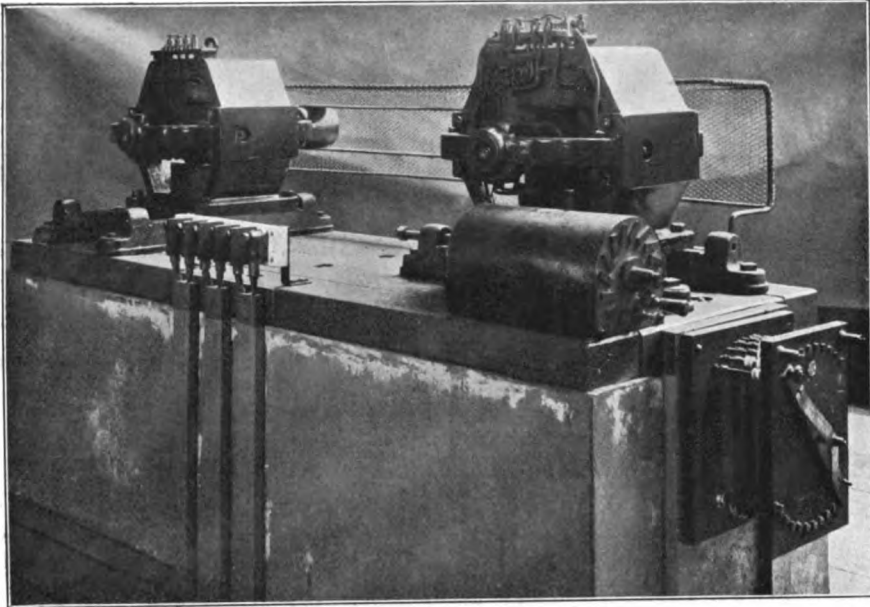


Fig. 41. -- *Un petit groupe Sautter-Harlé.* — A gauche, moteur de 3 kilowatts-1800 t.m. : à droite, générateur à enroulement compound 120 volts, 20 ampères, 1800 t.m. L'enroulement compound est subdivisé en quatre bobines, l'enroulement shunt en deux bobines, de façon à réaliser des couplages variés. Les élèves ont à leur disposition trois autres groupes analogues composés de machines venant de chez divers constructeurs.

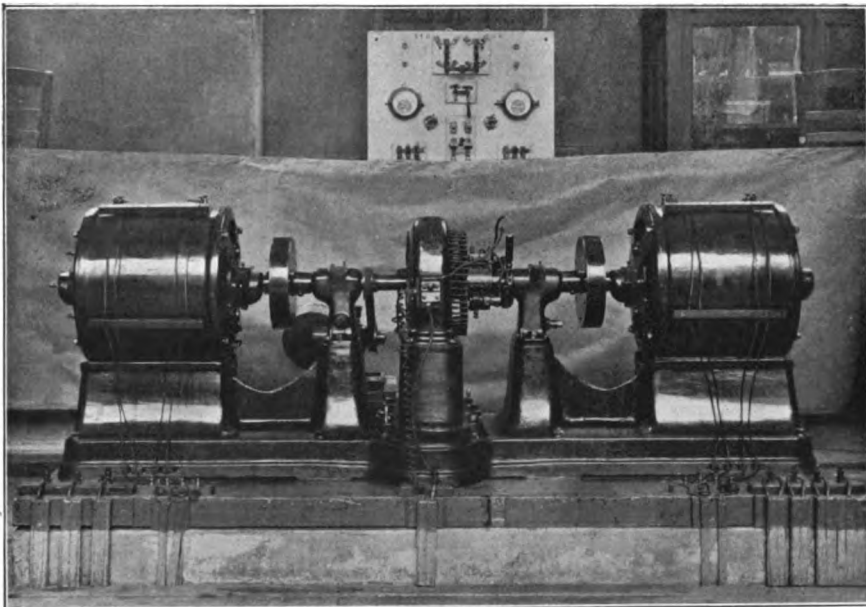


Fig. 42. — *Groupe de la Société Gramme, continu, diphasé, triphasé :* comprenant un moteur 110 volts, 80 ampères, 1350 t.m. ; entraînant, par accouplement élastique, à droite, un générateur triphasé tétrapolaire à induit tournant 130 volts, 15 ampères ; à gauche, un générateur diphasé 150 volts, 20 ampères.

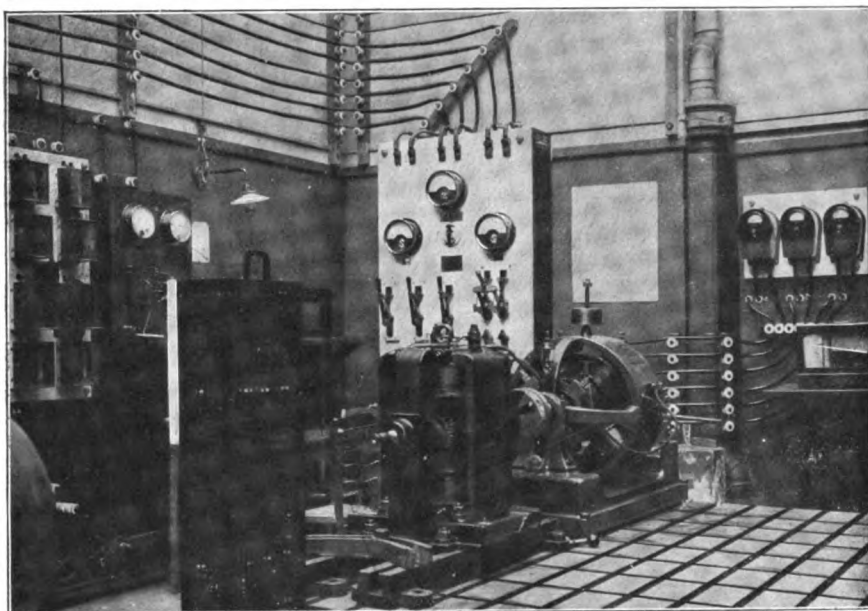


Fig. 43. — *Un coin de la salle des machines.* — Au premier plan, plate-forme à rainures permettant de fixer rapidement et solidement des machines quelconques en essai; en arrière, groupe formé d'un moteur à courant continu et d'un frein dynamo-électrique Panhard-Levassor-Hillairet, à inducteurs-balances montés sur billes; au fond, tableau de couplage des transformateurs du Secteur avec les trois compteurs Batault correspondants.

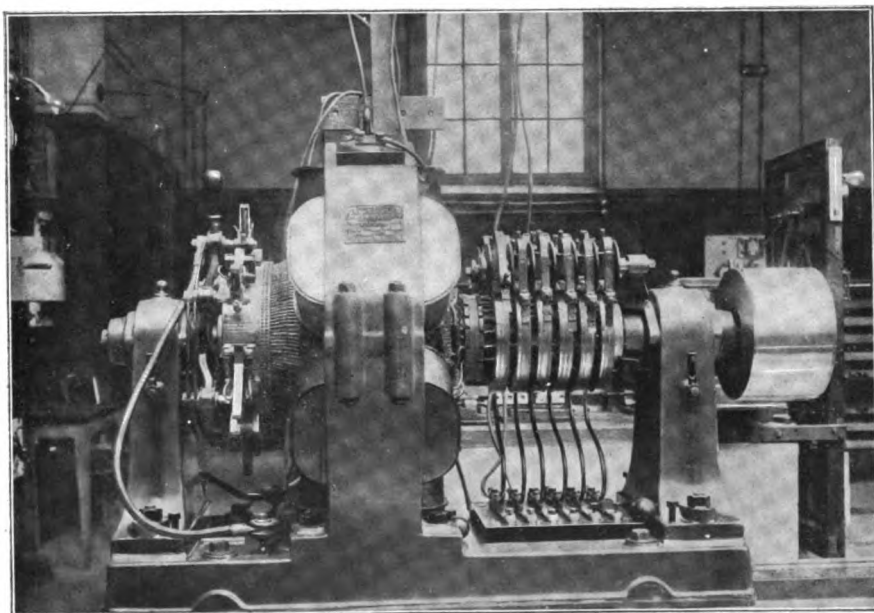


Fig. 44. — *Commutatrice Daydè et Pille, hexapolaire.*

Constantes : côté continu 220 volts, 60 ampères.

Côté alternatif	{	160 volts, altern. monophasé	{	1000 t/m, 50 ~.
		160 — — diphasé		
		135 — — triphasé		

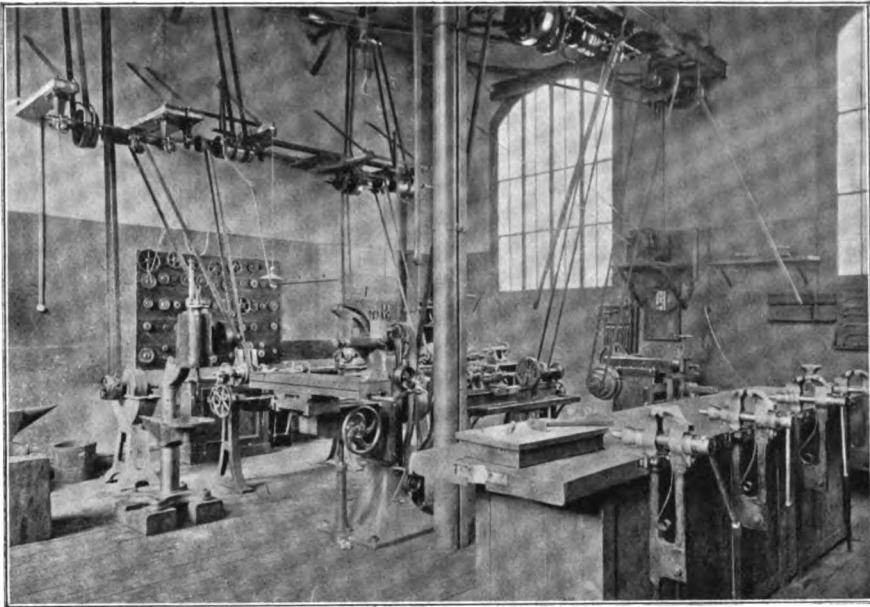


Fig. 45. — *Atelier du rez-de-chaussée.* — Cet atelier est réservé au gros ajustage. Il comprend un étau limeur, une perceuse, une fraiseuse, trois tours, une forge; il est entraîné par un moteur de 3 kilowatts.

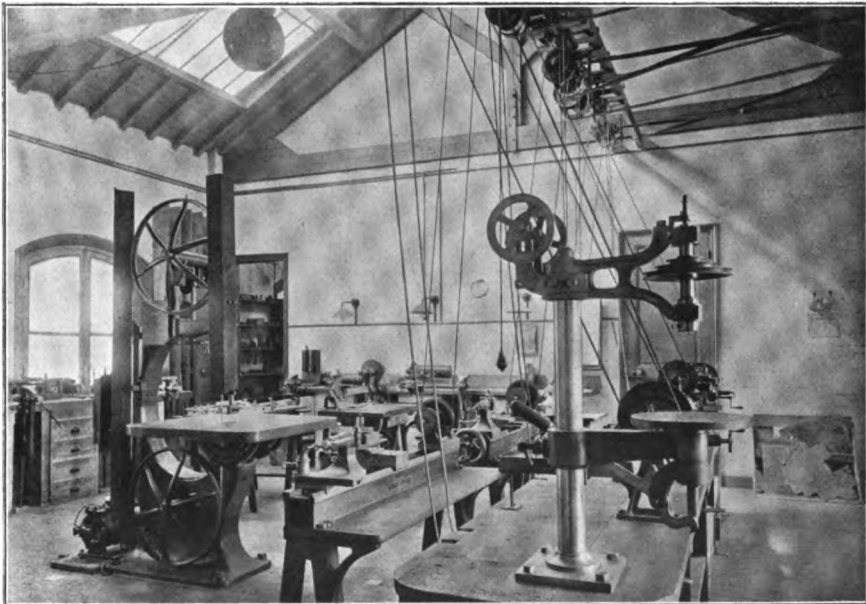


Fig. 46. — *Atelier du 1^{er} étage.* — Réservé au petit ajustage. Il est contigu à un atelier de menuiserie. C'est dans ces deux ateliers que les élèves exécutent les enroulements sur formes que l'on verra à la page suivante.

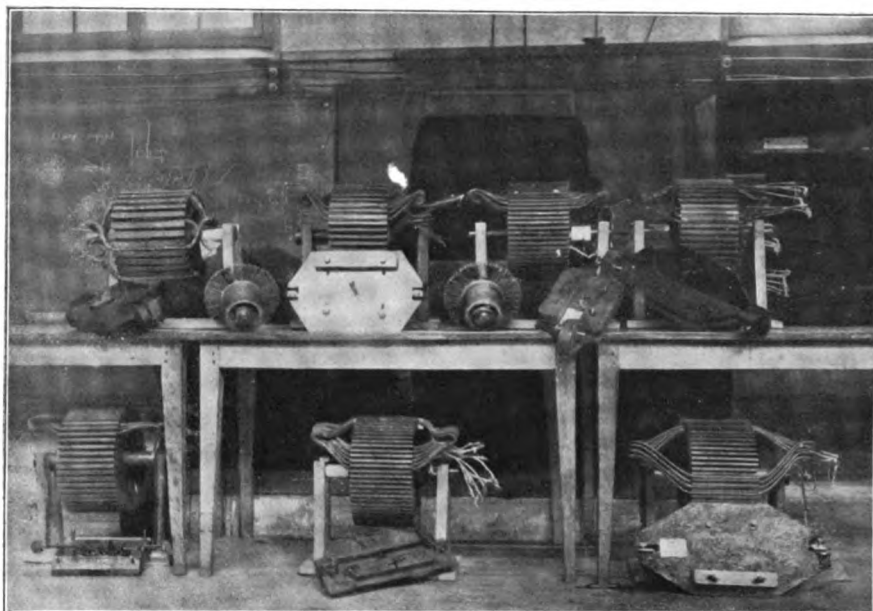


Fig. 47. — Quelques enroulements d'induit à courant continu effectués sur gabarit par les élèves. — Les élèves dessinent et construisent eux-mêmes les gabarits, puis exécutent quelques spires qui sont ensuite placées sur les formes en bois représentant les induits. La figure montre également les collecteurs exécutés par les élèves.

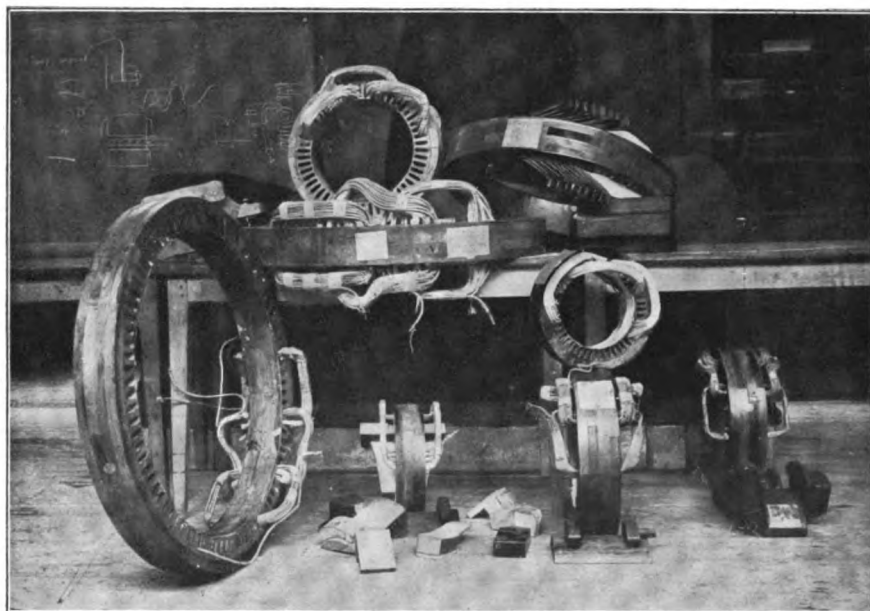


Fig. 48. — Quelques enroulements de moteurs asynchrones effectués par les élèves sur formes en bois à trous. — En haut, à droite, enroulement à barres; autres enroulements à fils.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admissions, p. 546. — Le photomètre à papillotement et la photométrie hétérochrome (M. **Lauriol**), p. 647. — Influence de l'hystérésis sur le couplage des alternateurs en parallèle (M. **Boucherot**), p. 653. — Les intégrateurs photométriques, mésophotomètres et lumenmètres (M. **Blondel**), p. 659. — Remarques sur la photométrie hétérochrome au moyen de photomètres à scintillation (M. **Blondel**), p. 697. — A propos de la Communication de M. Grassot et des appareils fluxographes (M. **Blondel**, M. **Grassot**), p. 703.

BIBLIOGRAPHIE, p. 706.

OUVRAGES OFFERTS, p. 710.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 9 novembre 1904 (1).

PRÉSIDENTE DE M. POLLARD.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir.

Le procès-verbal de la dernière Réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts pour la bibliothèque (*voir* p. 710) et des demandes d'admission suivantes :

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Péridier (Julien), Ingénieur des Arts et Manufactures, élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 20, rue du Regard, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Roy.

Thomann (Albert), Ingénieur électricien, 85, rue Manin, à Paris. — Présenté par MM. Imbault et Déramat.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

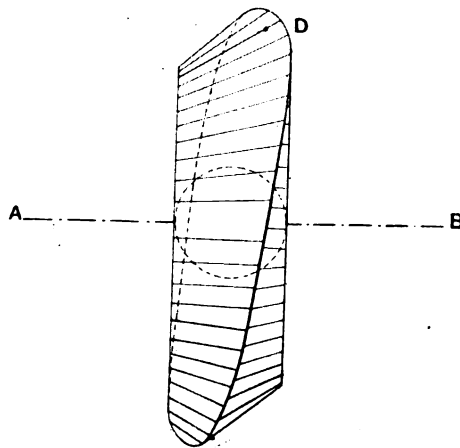
M. le PRÉSIDENT fait part du décès de M. *W.-H. Smith* et en exprime les regrets de la Société.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

LE PHOTOMÈTRE A PAPILLOTEMENT ET LA PHOTOMÉTRIE HÉTÉROCHROME.

M. LAURIOL. — « Les photomètres comportent, pour la plupart, deux plages blanches juxtaposées, éclairées chacune par l'une des sources à comparer et dont on égalise l'éclairement par un réglage convenable des distances entre les plages et les sources. Le photomètre Symmance-Abady est basé sur un principe différent. Un disque en plâtre, chanfreiné suivant les indications de la figure 1, tourne autour de son axe AB. Chacun des deux chanfreins est éclairé par une des sources qui sont placées sur une parallèle, à l'axe AB, en avant de celui-ci d'une quantité égale au rayon du disque. Une

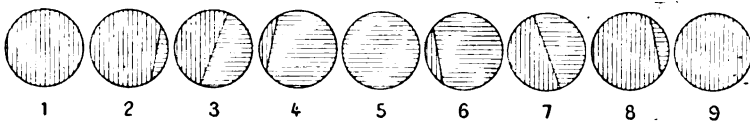
Fig. 1.



Disque chanfreiné.

lunette horizontale, perpendiculaire à AB, a son champ limité par une circonférence (en pointillé sur la *fig. 1*). Lorsque le disque

Fig. 2.



Succession des aspects observés à faible vitesse.

tourne lentement, on aperçoit successivement les aspects indiqués figure 2. Pour une vitesse de 5 à 15 tours par seconde l'on ne dis-

tingue plus ces aspects successifs, mais on observe un papillotement qui, suivant les inventeurs, cesse pour un réglage convenable des distances. Ceci permettrait l'égalisation des éclairements et par suite la mesure des intensités relatives des deux sources, *même de couleur différente*. Il semblait que le problème de la photométrie hétérochrome fût résolu. Or, chacun sait combien, en pareille matière, il y avait jusqu'ici peu de précision dans une mesure isolée, et combien les résultats étaient discordants quand on faisait varier, soit les éclairements absolus, soit la durée d'impression de la rétine.

» Pour analyser plus complètement les phénomènes, nous avons apporté au photomètre Symmance-Abady une modification : Dans l'appareil primitif, le disque est mû par un mouvement d'horlogerie et la vitesse est difficilement réglable et mesurable. Nous avons remplacé le mouvement d'horlogerie par un moteur électrique muni de rhéostats qui permettent de régler la vitesse.

» Pour éviter les troubles dus aux fluctuations de la lumière, nous n'avons opéré jusqu'ici qu'avec des lampes à incandescence alimentées par des accumulateurs.

» Suivant la vitesse, on observe des phénomènes d'ordre assez différent.

» Au repos, l'arête des chanfreins divisant le champ en deux parties égales (positions 3 ou 7 de la figure 2), on a un photomètre à plages fixes juxtaposées, fonctionnant comme tous les instruments analogues.

» Au voisinage de 1 tour par seconde, on distingue encore les deux plages et leur limite qu'on voit se déplacer. Le photomètre fonctionne à peu près comme dans le cas précédent.

» Vers 3 tours par seconde, on ne distingue plus les plages ni leur limite, le champ offre des teintes fondues de droite à gauche, passant, suivant la couleur des sources, d'un gris foncé à un gris clair, d'un gris vert à un gris rouge, etc. En même temps, un voile, à chaque tour, vient du côté de la plage la moins éclairée, couvre progressivement tout le champ et se retire du côté d'où il est venu. On peut encore sinon compter, au moins distinguer les alternances. La disparition ou le minimum de ce dernier effet indique l'égalité d'éclairement des deux plages.

» Entre 5 et 15 tours par seconde, on observe les teintes fondues

comme précédemment. On perçoit un papillotement qu'on ne peut plus localiser ni dans le temps ni dans l'espace, et dont l'extinction ou le minimum indique l'égalité d'éclairement des deux chanfreins.

» Enfin, aux grandes vitesses, il est clair que tout papillotement disparaîtrait, quel que fût l'éclairement des deux chanfreins.

» Avec deux sources de même couleur ou de couleurs très peu différentes, comme deux lampes à incandescence prises au hasard et étiquetées par le fabricant pour la même tension, le photomètre fonctionne bien à toute allure. Entre les divers photomètres connus et le photomètre à disque tournant, employé à telle ou telle vitesse, les préférences de divers observateurs peuvent varier. En ce qui nous concerne personnellement, le photomètre à disque tournant, employé aux vitesses où le papillotement se produit effectivement (6 à 8 tours par seconde), nous paraît plus précis et moins fatigant que les autres.

» Avec les lumières de couleurs différentes, les phénomènes deviennent singulièrement plus complexes.

» Signalons tout d'abord une première cause d'erreur. Les sources agissent sur l'œil, non directement, mais par l'intermédiaire de prismes, de miroirs, d'écrans soi-disant blancs. Mais ces derniers sont-ils vraiment blancs, et la lumière qui arrive à l'œil est-elle toujours de même composition que celle qui est émise par les sources? Les pertes diverses sont-elles les mêmes pour toutes les radiations élémentaires? Même si la couleur n'est pas altérée, un photomètre peut absorber plus qu'un autre et le passage d'un photomètre à un autre, sans modification des distances des sources, équivaut à une modification des éclairéments absolus perçus par l'œil, ce qui, comme chacun sait, fait varier les mesures. En fait, nous trouvons de l'un à l'autre des discordances sensibles, qu'il s'agisse de couleurs peu différentes, lampe nue et lampe couverte d'un verre jaune, lampe ordinaire et lampe Nernst, ou de couleurs très différentes, deux lampes couvertes l'une d'un verre rouge, l'autre d'un verre vert. Entre un Foucault et deux Lummer de types différents, on trouve des différences de 15 à 30 pour 100, *la distance entre le photomètre et l'une des deux sources restant fixe*. Ces différences sont systématiques, malgré les incertitudes sur chaque observation isolée, qui sont du même ordre de grandeur.

» L'éclairement absolu exerce sur les mesures son influence bien connue, avec le photomètre à papillotement comme avec les autres, et les variations sont de même ordre, quoique assez différentes. En allant des éclairagements minima aux éclairagements maxima que nous ayons pu réaliser, nous voyons que les rapports d'intensités varient proportionnellement aux nombres suivants :

$\frac{\text{blanc}}{\text{jaune}}$	100 à 80
$\frac{\text{blanc}}{\text{vert}}$	100 à 102 à 99
$\frac{\text{blanc}}{\text{rouge}}$	100 à 60
$\frac{\text{vert}}{\text{rouge}}$	100 à 20
$\frac{\text{jaune}}{\text{bleu}}$	100 à 400
$\frac{\text{Nernst}}{\text{incandescence ordinaire}}$	100 à 80 à 100

» Dans le photomètre à disque tournant, nous voyons l'influence de la vitesse s'ajouter aux précédentes. Lorsque la vitesse varie de 0 à 12 ou 15 tours par seconde, les rapports d'intensité varient proportionnellement aux nombres suivants :

$\frac{\text{blanc}}{\text{rouge}}$	100 à 80
$\frac{\text{vert}}{\text{rouge}}$	100 à 20
$\frac{\text{jaune}}{\text{bleu}}$	100 à 50 à 110
$\frac{\text{Nernst}}{\text{incandescence ordinaire}}$	100 à 120

» Si l'on dépouille les expériences en détail, on rencontre bien des anomalies. On ne doit donc voir, dans les chiffres qui précèdent, qu'une indication sur l'allure générale des phénomènes.

» Pour un éclairage donné, avec un photomètre donné et, s'il s'agit du photomètre Symmance, avec une vitesse donnée, l'expression : *rapport des intensités de deux sources*, paraît bien avoir une signification. Si, par exemple, l'on prend n sources $a_1, a_2, \dots, a_n$ de couleurs différentes, et qu'on mesure les rapports des intensités $\frac{a_1}{a_2}, \frac{a_2}{a_3}, \dots, \frac{a_{n-1}}{a_n}, \frac{a_n}{a_1}$, le produit de ces rapports doit être égal à 1. C'est

ce que nous avons vérifié à 10 pour 100 près avec trois ou quatre sources. Mais, si l'on ne fixe pas ces diverses données, les expressions : *intensité* ou *rapport d'intensités* n'ont plus de sens.

» Dans la pratique, nous examinons les objets éclairés pendant des durées très longues, comparées à la durée d'un tour du disque dans le photomètre à papillotement. Ce photomètre comporte donc, par son principe même, une cause d'erreur que ne comportent pas les photomètres à plages fixes et, comme exactitude sur une mesure isolée, il paraît leur être équivalent. S'il offre quelques avantages pour les sources de même couleur, il doit être rejeté dans les autres cas.

» Restent toujours les incertitudes provenant du type de photomètre employé, et de la valeur de l'éclairement. La première cause d'erreur est difficile à faire disparaître bien qu'il n'y ait pas d'impossibilité théorique; il faudrait trouver pour construire le photomètre un ensemble de corps (diffuseurs, réfracteurs et réflecteurs) tels que la lumière qui sort du photomètre ait toujours même composition que celle qui y entre. La seconde cause ne peut être détruite. Nous avons à examiner des objets avec des éclairagements très divers, depuis la lumière solaire par un beau temps jusqu'à l'éclairement artificiel d'une table de travail et à celui d'une voie publique dotée seulement du strict nécessaire. Il n'y a aucun motif pour choisir l'un ou l'autre de ces éclairagements comme base des mesures.

» On a proposé diverses méthodes pour mesurer les intensités de sources de diverses couleurs, avec ou sans l'aide de l'œil. Pour des sources de même composition, le problème est théoriquement soluble; si 999 sources A produisent le même effet, par exemple, sur une plaque photographique, que 1000 sources B, l'équivalence se maintiendra vraisemblablement pour une plaque photographique de nature différente ou placée à une distance différente, pour une pile thermo-électrique, pour une pile au sélénium, pour l'éclairement d'un objet quelconque à une distance quelconque, et l'on pourra dire que $B = \frac{999}{1000} A$. Il n'en est plus de même avec deux sources de composition différente. Les tentatives faites dans ce sens définissent toutes l'intensité totale d'une source de composition quelconque par une formule :

$$I = \int I_{\lambda} f(\lambda) a_{\lambda},$$

I_λ étant l'intensité de chaque radiation élémentaire mesurée, par exemple, en prenant pour unité l'intensité d'un étalon donné (carcel, étalon Violle, etc.), pour la même longueur d'onde;

» $f(\lambda)$ un coefficient numérique fonction de la longueur d'onde.

» On dira, par exemple, que deux sources sont égales si elles donnent la même impression sur une plaque photographique en faisant agir successivement les diverses radiations élémentaires pendant un temps $f(\lambda)$.

» On peut arriver ainsi à définir et à mesurer exactement, avec ou sans l'aide de l'œil, une certaine propriété des sources lumineuses. Mais on ne saurait trouver une $f(\lambda)$ telle que I représente dans tous les cas la valeur d'une source pour les divers cas de la pratique, puisque cette valeur n'est pas une propriété même de la source, mais dépend des circonstances dans lesquelles celle-ci est employée. Autant vaudrait chercher à évaluer le volume d'un cylindre en mesurant la longueur, sans s'inquiéter de son diamètre.

» Si l'on veut faire des mesures tant soit peu précises il faut ne comparer entre elles que des lumières sensiblement de même composition et par suite avoir toute une série d'unités différentes pour les flammes d'hydrocarbures, pour les becs de gaz à incandescence, pour les arcs électriques ordinaires, pour les arcs dits à *flamme*, etc. Quant à dire, d'après des mesures, qu'un arc électrique, dans une direction donnée, a une intensité de x carcel, ce n'est possible qu'avec une bien grossière approximation. On en saura presque autant, sans appareil de mesure, en appréciant au jugé combien de carcel et combien d'arcs il faut pour rendre les mêmes services dans un cabinet de travail, dans un atelier, sur une voie publique, etc.

» En terminant, je suis heureux de remercier le personnel du laboratoire de l'Usine des Halles et tout spécialement M. Girard, chef de l'usine, pour l'aide précieuse qu'il m'ont apportée et le zèle avec lequel ils ont accompli un travail souvent fastidieux.

» Je remercie aussi M. Mildé qui, grâce à l'automobile qu'il a bien voulu mettre ce soir à ma disposition, m'a permis de faire fonctionner le photomètre devant vous. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Lauriol de son intéressante Communication, ainsi que M. Ch. Mildé.

**INFLUENCE DE L'HYSTÉRÉSIS SUR LE COUPLAGE DES ALTERNATEURS
EN PARALLÈLE.**

M. BOUCHEROT. — « Je vous demande pardon de venir encore ce soir vous parler de couplage d'alternateurs, après avoir absorbé une bonne partie du temps de notre dernière séance en considérations sur ce même sujet. Mais je n'abuserai de votre attention que pendant quelques minutes, et comme il s'agit d'un complément à ma dernière Communication, concernant un détail assez curieux en lui-même, je pense ne pas vous faire regretter cette dépense de temps.

» Mon titre est un peu incomplet; j'aurais dû préciser qu'il s'agit de l'hystérésis du fer de l'induit. Au premier abord, il semble douteux que l'hystérésis *de l'induit* puisse avoir une influence quelconque sur la marche en parallèle; et cependant je crois cette influence importante parce que destructive de l'amortissement quand il est faible.

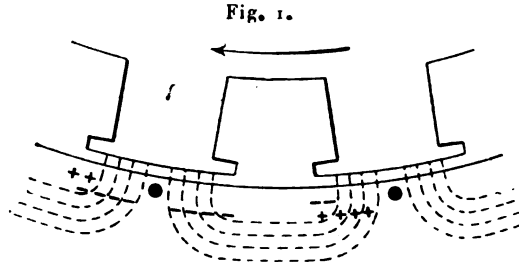
» Voici comment :

» Tout le monde sait aujourd'hui que, dans une bobine de self-induction, par exemple, le flux est légèrement en retard, du fait de l'hystérésis, sur le courant magnétisant qui le produit, et que, par conséquent, la force électromotrice est légèrement en retard sur ce qu'elle serait s'il n'y avait pas d'hystérésis.

» Si l'on examine en détail ce qui se passe dans un alternateur, on reconnaît aisément que la force électromotrice est aussi légèrement en retard sur ce qu'elle serait s'il n'y avait pas d'hystérésis dans les tôles d'induit.

» Considérons (*fig. 1*) deux pôles + et — d'un alternateur, et une spire induite dont les deux côtés actifs sont, à un moment donné, dans l'axe des deux pôles. Si le sens de rotation des pôles est celui indiqué par la flèche, le magnétisme, au lieu d'être également réparti de part et d'autre de chaque conducteur, est plus intense à gauche qu'à droite, par suite des résidus subsistant à droite de la précédente magnétisation en sens contraire. Le flux dans la spire, au lieu d'être nul à ce moment, a encore une certaine valeur

et ne sera nul qu'un peu plus tard. Le retard de la force électromotrice ne paraît pas douteux.



Hystérésis dans les tôles de l'induit d'un alternateur.

» Je dois alors émettre une opinion que tout le monde ne partagera peut-être pas :

» Les efforts électrodynamiques résultent de l'action du courant induit, non pas sur le champ magnétique de l'induit, mais sur le champ magnétique des inducteurs; ce n'est pas sur le fer induit, mais sur le fer inducteur, que les courants induits exercent leur action. En sorte que, à mon avis, la puissance n'est pas exactement le produit de la force électromotrice par le courant, mais le produit de ce que serait la force électromotrice sans retard hystérétique par le courant tel qu'il est.

» C'est une opinion personnelle; j'aimerais savoir ce que nos collègues en pensent.

» Soient alors les vitesses des deux alternateurs couplés en régime oscillatoire ⁽¹⁾ :

$$\Omega_m(1 \pm \varepsilon \sin \alpha t),$$

le signe + se rapportant à l'un des alternateurs, le signe — à l'autre. Comme l'écart angulaire est à chaque instant (intégrales des vitesses)

$$\mp \Omega_m \frac{\varepsilon}{\alpha} \cos \alpha t,$$

les forces électromotrices sans hystérésis seraient

$$E_1(1 \pm \varepsilon \sin \alpha t) \sin \omega \left(t \mp \frac{\varepsilon}{\alpha} \cos \alpha t \right),$$

⁽¹⁾ Les symboles sont les mêmes que dans ma dernière Communication.

ce qui peut encore s'écrire sans grande erreur

$$E_1 (1 \pm \varepsilon \sin \alpha t) \left(\sin \omega t \mp \frac{\omega \varepsilon}{\alpha} \cos \alpha t \cos \omega t \right).$$

» A cause du retard hystérétique, elles sont en réalité

$$E_1 (1 \pm \varepsilon \sin \alpha t) \left[\sin (\omega t - \chi) \mp \frac{\omega \varepsilon}{\alpha} \cos \alpha t \cos (\omega t - \chi) \right].$$

» Négligeons provisoirement la résistance intérieure r des alternateurs; si l est la self-induction de chacun, le courant de circulation est alors

$$\frac{E_1}{\omega l} \left[\frac{\omega \varepsilon}{\alpha} \cos \alpha t \sin (\omega t - \chi) + \varepsilon \sin \alpha t \cos (\omega t - \chi) \right].$$

» D'après la remarque faite précédemment, les puissances sont le produit de ce courant par les forces électromotrices (sans hystérésis). En laissant de côté les termes en $2\omega t$ pour n'avoir que les puissances moyennes, et en négligeant quelques termes sans importance, celles-ci sont alors

$$\left. \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \end{matrix} \right\} = \pm \frac{E_1}{2\omega l} \left(\frac{\omega \varepsilon}{\alpha} \cos \chi \cos \alpha t + \varepsilon \sin \chi \sin \alpha t \right).$$

» Or, il est facile de voir que $\sin \chi$ est justement la perte η par hystérésis dans l'induit rapportée à la puissance totale de la machine (0,02 à 0,06 suivant les cas). On peut dès lors confondre $\cos \chi$ avec l'unité, et les puissances deviennent plus simplement

$$\left. \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \end{matrix} \right\} = \pm E_{\text{eff}} I_{cc} \left(\frac{\omega \varepsilon}{\alpha} \cos \alpha t + \varepsilon \eta \sin \alpha t \right);$$

le premier terme du second membre

$$E_{\text{eff}} I_{cc} \frac{\omega \varepsilon}{\alpha} \cos \alpha t$$

est la puissance synchronisante, celle qui fournit le couple élastique et la période propre d'oscillation; le second terme divisé par la

vitesse moyenne Ω_m

$$\frac{E_{cc} I_{cc}}{\Omega_m} \varepsilon \eta \sin \alpha t$$

est un couple perturbateur de signe contraire à l'amortissement, qui amplifie indéfiniment les oscillations quand il est plus grand que celui-ci.

» J'ai précédemment défini l'amortissement C_a par l'égalité

$$\text{Couple amortisseur} = C_a \frac{\Omega - \Omega_m}{\Omega_m},$$

où Ω est la vitesse instantanée, $\Omega_m(1 \pm \varepsilon \sin \alpha t)$ dans notre cas. Le couple amortisseur est donc

$$\mp C_a \varepsilon \sin \alpha t.$$

» Le couple perturbateur dû à l'hystérésis est donc plus grand que l'amortissement quand

$$\frac{E_{cc} I_{cc}}{\Omega_m} \eta > C_a.$$

» En général C_a est une fraction $\frac{1}{g}$ du couple normal en charge de l'alternateur; si, d'autre part, on appelle k le rapport du courant de court-circuit I_{cc} au courant normal, l'inégalité ci-dessus devient, plus généralement,

$$k \eta g > 1.$$

» Dans les alternateurs à pôles feuilletés, g est très grand, 10, 20 et même plus. On voit alors qu'en général pour $k = 4$ (alternateurs à faible réaction), pour $\eta = 0,05$, et pour $g = 10$,

$$k \eta g = 2,$$

ce qui veut dire que, avec les alternateurs volants, à faible réaction et pôles feuilletés, l'amortissement naturel, faible, peut être détruit facilement par l'influence de l'hystérésis, et le phénomène de balancement progressif peut se produire assez fréquemment.

» Dans tout ceci, l'excitation des alternateurs est supposée absolument constante, faite par des accumulateurs par exemple. Lorsque

les alternateurs ont des excitatrices, l'influence dont j'ai parlé à la dernière séance s'ajoute à celle de l'hystérésis : elle est aussi d'autant plus grande que la réaction est plus petite, mais de plus, comme elle contient α en dénominateur, elle est d'autant plus grande que le volant est plus lourd. Ceci peut expliquer que le phénomène ait été observé surtout avec des volants lourds. Il disparaît dès que l'on réunit en parallèle les excitations; ceci a, en effet, un double résultat :

» 1° Celui d'annuler φ_1 et de supprimer par conséquent le premier effet;

» 2° Celui d'introduire un amortissement supplémentaire par l'échange de courant entre les excitatrices.

» M. H.-H. Barnes a observé de même que le balancement est supprimé lorsque, les alternateurs étant excités par accumulateurs, on charge leurs excitatrices sur des résistances. C'est encore une augmentation de l'amortissement, puisque, dans ce cas, le couple résistant des excitatrices est proportionnel à la vitesse. Et qu'on ne soit pas surpris qu'une si petite cause ait un pareil effet, car le couple perturbateur dû à l'hystérésis est petit, puisqu'il contient $\eta\epsilon$; il est de l'ordre de grandeur de l'amortissement quand celui-ci est *très faible*. S'il en était autrement, le phénomène de balancement progressif se produirait beaucoup plus fréquemment : il ne se produit pas quand l'amortissement est un peu fort.

» Il n'est pas sans intérêt de faire remarquer qu'on peut très bien comprendre physiquement cette influence de l'hystérésis, sans avoir recours à des formules mathématiques.

» Lorsque deux alternateurs couplés ont un décalage, sans osciller, si les forces électromotrices sont égales, le courant de circulation est watté; s'ils oscillent, la différence périodique de leurs forces électromotrices donne lieu à un petit courant de circulation supplémentaire qui est *déwatté*, périodique, maximum au milieu de l'oscillation et nul aux extrémités. Sans hystérésis, ce courant déwatté n'a aucun effet. Avec l'hystérésis il se trouve retardé légèrement et devient donc partiellement watté (négativement); sa composante wattée est *motrice*, et, comme elle est maxima au milieu de l'oscillation, c'est-à-dire quand la vitesse périodique est maxima, elle produit un amortissement négatif.

» Le retard des forces électromotrices sur les vitesses, quand il y a des excitatrices, produit le même résultat.

» Dès lors, on peut prévoir que toute cause de retard du petit courant dévatté, dû aux oscillations des forces électromotrices, produira le même effet.

» Par contre, toute cause d'avance produira un amortissement positif. Et dans ce cas se trouve la résistance intérieure des alternateurs qui a pour effet de provoquer une avance du courant comme toute résistance introduite dans un circuit réactif.

» Si l'on recommence en effet les calculs précédents en ne négligeant plus r devant ωl , mais en négligeant encore r^2 devant $\omega^2 l^2$ pour simplifier, on trouve pour le couple perturbateur

$$\frac{E_{cg} I_{cc}}{\Omega_m} \varepsilon \left(\eta - \frac{r}{\omega l} \right) \sin \alpha t.$$

» Le couple perturbateur dû à l'hystérésis et la résistance intérieure combinés peut devenir nul, voire même amortisseur, en augmentant la résistance intérieure r .

» Il serait intéressant de vérifier la chose expérimentalement. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Boucherot.

LES INTÉGRATEURS PHOTOMÉTRIQUES. MÉSOPHOTOMÈTRES ET LUMENMÈTRES.

M. BLONDEL. (¹) —

I. — GÉNÉRALITÉS.

« 1° *Importance du flux lumineux dans l'étude de l'éclairage.* — On discute souvent beaucoup pour savoir quelle est la meilleure définition de l'effet utile des sources de lumière. En réalité, il n'y a pas de définition absolue et chacun peut avoir raison suivant les circonstances d'emploi.

» Il est évident, en particulier, que l'utilisation d'une source de lumière en plein air pour l'éclairage d'une voie publique, par exemple, peut être toute différente de celle que donne la même source placée dans un appartement; même dans un local fermé, l'effet obtenu peut être complètement changé suivant que les murs sont blancs ou couverts d'une tenture sombre, que la source de lumière est placée au plafond ou suspendue à une grande distance au-dessous de celui-ci, qu'on renvoie une partie des rayons au plafond, ou au contraire qu'on dispose un abat-jour au-dessus de la source.

» Quand on tient compte de toutes ces variations possibles du mode d'emploi, on voit qu'il ne faut pas être absolu, ni préconiser, ou l'évaluation de l'éclairement horizontal, ou l'intensité moyenne sphérique, ou l'intensité hémisphérique comme des panacées universelles; le genre d'application de la lumière doit influer sur le choix du type de source lumineuse. Il est certain, par exemple, que, pour éclairer une voie publique, on doit préférer des foyers puissants tels que l'arc, tandis que, pour éclairer une table de lecture, on préférera des lampes à incandescence ou à huile avec des abat-jour. De même on devra tenir compte de l'éclat intrinsèque de la source de lumière pour apprécier l'effet qu'on en peut obtenir; car, ainsi que je l'ai fait observer déjà depuis longtemps (²), les

(¹) Communication présentée par M. Laporte.

(²) *A propos des globes holophanes* (*Société française de Physique*, 1897).

sources trop brillantes font rétrécir la pupille plus que les sources très diffusées (¹), et donnent finalement un effet physiologique moindre que celui qu'on prévoit d'après de simples mesures photométriques. Pour comparer physiologiquement deux sources, on devrait donc toujours avoir soin de les ramener tout d'abord au même éclat intrinsèque, en ajoutant, s'il le faut, autour de l'une ou de l'autre, des écrans diffusants opalins ou autres.

» Ces considérations enlèvent beaucoup de valeur aux mesures pures et simples de l'éclairement sur une surface horizontale; car, par exemple, un promeneur qui s'approche d'un arc électrique, surtout quand ce dernier est placé un peu bas, ne profitera pas complètement des éclairagements plus forts réalisés sur la chaussée à faible distance du candélabre; au fur et à mesure qu'il se rapprochera, sa pupille se diaphragmera de plus en plus par suite de la présence du point lumineux qu'il aura devant les yeux.

» Les courbes d'éclairement ont cependant un avantage, c'est de permettre de juger la répartition d'un éclairage de façon à le rendre aussi égal que possible, d'éliminer les espaces trop éclairés qui font inutilement des taches lumineuses sur le sol et de rechercher le meilleur éclairage moyen. Encore faut-il, comme je l'ai montré ailleurs (²), se préoccuper de l'éclairement vertical et non pas de l'éclairement horizontal, comme on le fait d'ordinaire, car c'est l'éclairement vertical qui est utile en général.

» Une autre difficulté résulte de l'effet produit par les globes diffusants qu'on met autour des lampes; ils déforment complètement les courbes obtenues par les feux nus, et peuvent rendre illusoires les résultats étudiés. Il suffit, pour s'en rendre compte, de considérer les courbes obtenues sur des arcs électriques avec des globes opalins de formes différentes. On voit que certaines formes de globes se prêtent à l'éclairage à grande distance, et d'autres, au contraire, à l'éclairage au-dessous de la lampe.

» On comprend donc que, pour l'extérieur, il faut tenir compte de

(¹) Par exemple, l'iris, qui peut s'ouvrir jusqu'à $\frac{F}{4}$ et même davantage dans l'obscurité ou sous un très faible éclairage, peut se fermer jusqu'à $\frac{F}{10}$ ou $\frac{F}{16}$ en présence de sources plus brillantes.

(²) *Théorie de l'éclairage public par les lampes à arc* (Génie civil, 1896).

toutes les conditions de répartition de la lumière, et qu'une courbe photométrique avantageuse peut compenser, dans une certaine mesure, une infériorité de rendement. Par exemple, l'arc enfermé, bien qu'ayant une consommation spécifique plus que double de l'arc ordinaire, donne des résultats assez bons, peut-être même quelquefois meilleurs, pour l'éclairage des grands espaces, parce qu'il évite un trop fort éclairement au pied des lampes et projette son maximum de lumière plus loin.

» Cependant, en général, pour la facilité des évaluations, il est commode de connaître le flux total lumineux qu'on peut projeter dans un certain angle solide au-dessous de l'horizon, car l'éclairement moyen s'en déduira en divisant ce flux par la surface à laquelle il s'applique. Malheureusement, à grande distance, l'éclairement devient très peu perceptible et c'est cependant au voisinage de l'horizon qu'il y a intérêt à envoyer le plus possible le flux lumineux.

» En ce qui concerne l'éclairage intérieur, les conditions d'évaluation sont plus simples; dans certains cas, on doit chercher à rendre maximum l'éclairement au-dessous de la lampe, par exemple pour les lampes à incandescence destinées à éclairer des tables de travail ou de dessin; certains types de lampes ont même été établis en vue d'arriver à ce résultat. Mais, en général, surtout pour les grosses sources de lumière, on doit éviter l'action directe des rayons et réaliser un bon éclairement d'ensemble par la division de la lumière sur le plafond et sur les murs. Dans ce cas, c'est le flux lumineux total fourni par la lampe qui intervient, puisque l'éclairement en un point quelconque résulte de diffusions multiples. La question se simplifie alors beaucoup et le rendement utile de la lampe peut être mesuré par son flux lumineux total comparé à la dépense d'énergie nécessaire pour le produire. Ce flux lumineux total a donc une importance pratique considérable. On peut lui en attribuer une, même pour l'éclairage extérieur, si l'on remarque qu'au fond, une lampe bien comprise doit utiliser tout ce flux pour le renvoyer par des réflecteurs au-dessous de l'horizon, et qu'alors le flux lumineux hémisphérique devient presque égal au flux lumineux total, sauf la perte ordinairement faible entraînée par les réflecteurs nécessaires.

» Il est donc intéressant, sans vouloir exagérer les conséquences qu'on en peut tirer dans tous les cas, de connaître le flux lumineux

total; on ne saurait nier en tous cas qu'il donne la véritable mesure photométrique pratique de l'efficacité d'un système de transformation de l'énergie en lumière.

» Il permet, du reste, d'évaluer grossièrement l'éclairement qu'on peut réaliser sur une surface donnée, en divisant le flux par la surface.

» Tous les calculs relatifs aux flux sont rendus aujourd'hui très faciles par l'emploi de grandeurs et d'unités photométriques adoptées par le Congrès international de Genève. L'évaluation de l'effet utile des lampes à arc par le nombre de lumens qu'elles produisent, et de leur efficacité par leur nombre de lumens par watt, est devenue aujourd'hui courante en France, grâce aux travaux toujours si consciencieux du Laboratoire Central d'Electricité.

» 2° *Méthodes anciennes pour la mesure de la moyenne sphérique.*

— Avant la définition du flux lumineux et l'introduction des lumen-mètres pour sa mesure, on avait l'habitude de définir une source de lumière par son intensité moyenne sphérique, notion introduite par M. Allard en 1879; comme l'on sait, cette intensité est égale au flux total divisé par 4π .

» Pour la déterminer, on employait la méthode indirecte de M. Allard, consistant dans l'étude de la répartition des intensités lumineuses dans les diverses directions.

» Cette étude serait d'une complexité inadmissible si l'on devait la faire pour des sources de lumière dénuées de symétrie. Mais la plupart des sources usuelles présentent, théoriquement tout au moins, un axe de symétrie vertical, et l'on peut admettre que la distribution de la lumière est de révolution autour de cet axe. Il suffit alors de déterminer la courbe des intensités lumineuses dans un plan méridien en fonction de l'angle α suivant lequel les rayons sont émis, et d'intégrer cette courbe, soit par la formule

$$I_{ms} = \frac{I}{2} \int_0^\pi I_\alpha \sin \alpha \, d\alpha,$$

soit par la méthode graphique bien connue de M. Rousseau.

» Pour le tracé des courbes d'intensité, on a imaginé, comme on le sait, un grand nombre de dispositifs permettant de mesurer les

intensités sous des inclinaisons variables dans un même plan méridien; ces dispositifs sont décrits avec détails dans les différents Traités de Photométrie, et je ne les rappellerai donc pas ici.

» Le plus pratique est l'appareil à miroir à 45° , tournant autour d'un axe horizontal, dont l'idée première a été indiquée, je crois, par M. von Hefner-Alteneck. Le miroir fait, avec le bras support mobile auquel il est fixé, un angle constant et réglé de telle façon que le faisceau réfléchi tombe sur le photomètre sous un angle d'incidence constant. Les rayons directs de la lampe sont arrêtés par un écran. En donnant au miroir toutes les positions autour de la source, on étudie l'intensité dans toutes les directions comprises dans un plan vertical perpendiculaire à l'axe, et ces directions sont indiquées chaque fois par la position de l'alidade. L'angle d'incidence des rayons sur le miroir restant le même dans toutes les directions, le coefficient d'affaiblissement est constant, et il suffit de le déterminer une fois pour toutes.

» L'avantage d'un pareil tracé de la courbe photométrique est de renseigner sur les résultats à attendre d'une source pour l'éclairage des grands espaces découverts; mais, pour avoir un résultat précis avec l'arc électrique, il faut recommencer un grand nombre de fois le tracé, qui est constamment variable, et arriver ainsi à un tracé moyen.

» La méthode du miroir mobile se prête à la photométrie de sources de grandes dimensions et, en particulier, de l'arc sous globe; mais il est bon de signaler que les courbes tracées dans ces conditions peuvent donner lieu souvent à des erreurs dans l'application, faute d'un recul du photomètre suffisant pour qu'on ait de la précision dans la définition du centre de la source (est-ce le centre du globe, ou est-ce le point lumineux de l'arc?) et de la direction d'émission des rayons; l'intensité d'une source lumineuse ne peut avoir un sens qu'à de très grandes distances, lorsque la dimension apparente de la source est négligeable, et qu'on peut ainsi la confondre avec un de ses points. A petite distance, les intensités équivalentes sont difficiles à définir, parce qu'elles varient suivant le point de la source qu'on prétend considérer comme centre fictif d'émission des rayons.

» Enfin, malgré sa simplicité apparente, cette méthode est très

pénible à cause du nombre considérable de mesures qu'elle exige, toutes les fois que la source de lumière n'est pas exactement de révolution. C'est, en particulier, le cas qui se présente toujours pour l'arc électrique, par suite des inégalités de taille des crayons. Pour faire une mesure rigoureuse de moyenne sphérique, il faudrait, en toute rigueur, étudier la répartition de l'intensité lumineuse au moins dans quatre azimuts, à 90 degrés les uns des autres; mais, comme l'a signalé M. Wedding, on obtient des résultats très suffisamment approchés de la vérité en opérant *à la fois* dans deux azimuts opposés et faisant la moyenne. En effet, les variations de lumière produites dans ces deux azimuts, par la rotation de l'arc, se compensent presque exactement.

» M. Wedding employait deux observateurs. M. Laporte a tiré un meilleur parti du même principe, en construisant un appareil du même genre, mais à deux miroirs indépendants, qu'on déplace suivant les mêmes angles sur deux demi-cercles opposés. Son appareil, qui a été exécuté pour le Laboratoire central d'Électricité ⁽¹⁾, est le mieux compris, à ma connaissance, de ces appareils traceurs de courbes, en ce qu'il permet, non seulement d'opérer assez rapidement, mais encore de photométrer de très grosses lampes, avec leur équipement, tels que globes de 50 cm et réflecteurs de 70 cm. Les centres des miroirs décrivent des cercles de 1,70 m de diamètre; les miroirs ont 60 × 80 cm et pèsent chacun 20 kg. On augmente encore la précision des mesures en recommençant le tracé de la courbe après avoir fait tourner la lampe de 90 degrés autour de son axe, ce qui porte à quatre le nombre des azimuts étudiés. Enfin, pour chaque angle, on prend comme valeur de l'intensité lumineuse la moyenne de l'intensité maxima et de l'intensité minima relevées au photomètre, ce qui revient au même, pratiquement, que de faire la moyenne d'une douzaine de lectures équidistantes, comme le recommandait M. Allard.

» On obtient ainsi des résultats assez concordants.

» Malgré les progrès réalisés par cette méthode des courbes d'intensité, elle n'offre toujours pas une rigueur absolue, et elle a surtout le grave défaut d'être longue et laborieuse. Si l'on relève, par

(1) Voir au *Bulletin*, séance du 7 juin 1899, p. 228, la Communication de M. Laporte.

exemple, l'intensité suivant des angles de 15' en 15', il ne faut pas moins de douze séries de lectures moyennes dans chaque azimut, et autant d'opérations d'ajustement des positions des miroirs. On gagne du temps en disposant à l'avance, comme on le verra plus loin, vingt-quatre miroirs juxtaposés en tronc de pyramide, de façon à n'avoir pas à les ajuster, mais seulement à les découvrir successivement; mais, pour opérer sur de grosses lampes, on serait conduit à construire un appareil beaucoup trop encombrant.

» Le but des mésophotomètres et des lumenmètres est de remplacer ce fastidieux travail du tracé de la courbe d'intensité par une seule mesure donnant, après tarage préalable de l'instrument, la valeur du flux dans un angle dièdre connu ou même le flux total. Cette mesure suffit, en effet, à faire connaître la production de lumière et le rendement d'une source de lumière, et l'on connaît, en général, suffisamment la forme générale de la répartition de la lumière pour qu'il soit inutile de la déterminer à chaque mesure de flux.

II. — MÉSOPHOTOMÈTRES.

» Pour simplifier et accélérer le procédé de détermination par la courbe méridienne, la première idée qui se présente à l'esprit est d'effectuer l'intégration de cette courbe par un appareil automatique, au lieu de la faire par le calcul.

» J'avais eu déjà cette idée en 1892 et l'avais indiquée dans un Mémoire non publié, mais présenté à quelques personnes. Le procédé proposé consistait à faire tourner un miroir avec une vitesse variable en fonction du temps, et de la forme

$$\omega = \Omega \cos \alpha$$

dans un plan méridien, de façon que la durée d'un tour restât inférieure à la durée de la persistance des impressions ($\frac{1}{10}$ de seconde environ). Mais un semblable mouvement était difficile à réaliser, et le dispositif ne permettait pas de placer l'arc au centre de la circonférence décrite par le point d'incidence, d'où résulterait une erreur souvent importante sur la valeur de l'intensité moyenne sphérique.

» MM. Houston et Kennelly ⁽¹⁾ ont eu, de leur côté, et tout à fait indépendamment, la même idée en 1896 et l'ont réalisée sous une forme plus parfaite, mais sans éviter cependant le dernier inconvénient qu'on vient de signaler.

» Ils font tourner, autour de la source de lumière, un miroir dont l'inclinaison est variable et qui renvoie les rayons sur un prisme à réflexion totale d'où ils sortent parallèlement à l'axe de rotation de l'appareil. Celui-ci est mis en mouvement par un moteur électrique à une vitesse de rotation constante et assez grande pour obtenir la persistance des impressions lumineuses. Devant l'orifice de sortie des rayons réfléchis par le prisme, tourne un disque obturateur percé de fentes de largeurs variables, et entraîné par un engrenage dont le rapport de vitesse est 2, de telle sorte que le disque fasse deux tours pendant un tour du miroir. Les largeurs des fentes varient de *zéro* à une ouverture maximum sur l'extrémité opposée du même diamètre, suivant la loi sinusoidale. On conçoit, dans ces conditions, que les rayons émis sous un certain angle par une source de lumière, soient reçus par l'œil pendant une durée précisément proportionnelle au cosinus de cet angle par rapport au plan horizontal. L'intégration se fait donc automatiquement et l'impression lumineuse est bien proportionnelle à l'intensité moyenne sphérique multipliée par un certain facteur qui dépend du nombre de fentes et de leur durée de passage devant l'œil.

» Le grand avantage de ce dispositif, c'est qu'il n'emploie qu'un miroir et n'exige, par conséquent, qu'un seul tarage, celui du pouvoir réflecteur de l'appareil dans son ensemble; tous les autres coefficients peuvent être calculés en valeur absolue.

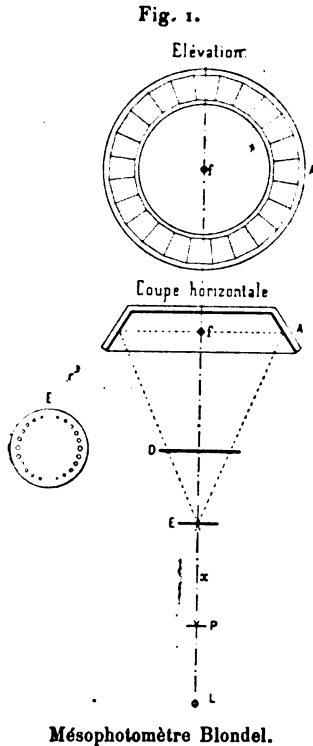
» Les inconvénients sont, outre celui qui a été signalé plus haut, la nécessité d'employer un moteur et la force centrifuge qui devient considérable.

» Pour éviter ces inconvénients, j'ai proposé ⁽²⁾ une disposition dans laquelle les miroirs sont fixes, et forment une couronne entourant la source de lumière suivant un plan diamétral, comme le représente la figure 1. Les miroirs sont des plans trapézoïdaux dé-

(1) *Electrical World*, 9 mai 1896, p. 510.

(2) *Éclairage électrique*, 1896, t. VIII, p. 49.

coupés dans une même glace argentée et disposés en forme de tronc de pyramide, analogue aux rosaces qu'on voit dans certaines boutiques. Cet appareil s'appelle un *mésophotomètre*.



» Avec une source lumineuse de petite dimension telle que l'arc, il est facile, tout en employant un nombre assez grand de miroirs, 24 par exemple, de leur donner les dimensions suffisantes pour que, du point où l'on fait converger tous les rayons réfléchis, on aperçoive l'arc complètement au milieu de chacun des miroirs.

» Cette rosace peut servir, tout d'abord, à tracer la courbe photométrique elle-même si l'on découvre successivement les différents miroirs un seul à la fois, en laissant tous les autres obturés; on évite ainsi les lectures d'angle qui font perdre beaucoup de temps dans les procédés ordinaires. Pour obtenir l'intensité moyenne sphérique, il suffit d'affaiblir l'action de chacun des miroirs proportionnellement aux $\sin \alpha$ correspondants, en faisant tourner autour de la source lumineuse une sphère opaque munie d'ouvertures en forme

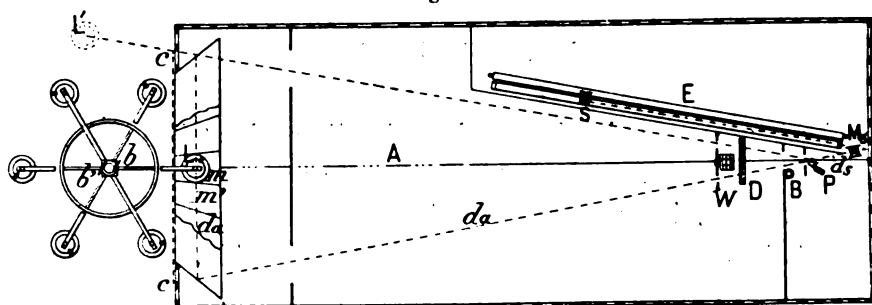
de fenêtres, limitée par des portions de méridien, et sous-tendant des angles horizontaux proportionnels aux sinus.

» La mesure directe se fait au photomètre placé au point de convergence des rayons de tous les miroirs, et le tarage ne dépend encore que de la détermination du pouvoir réflecteur des miroirs, les autres coefficients étant connus en valeur absolue.

» J'avais signalé dans ce même article que, au lieu d'affaiblir l'intensité lumineuse réfléchie par les différents miroirs par occultation temporaire, on pourrait recourir à d'autres procédés d'affaiblissement n'exigeant aucun mouvement de rotation, en particulier à des verres fumés placés sur le parcours des rayons, et d'opacité variée suivant la position du miroir.

» Cette dernière disposition a été réalisée plus récemment avec beaucoup d'habileté, aux États-Unis, par le professeur C.-P. Matthews (¹), qui en a fait de très intéressantes applications à la photométrie des lampes à arc enfermées. Comme, dans ces lampes, la source de lumière, formée par le petit globe intérieur en verre opale contenant l'arc, a des dimensions assez considérables, l'appareil de M. Matthews a reçu des dimensions beaucoup plus grandes que toutes celles réalisées jusqu'ici. Il est représenté en plan sur

Fig. 2.



Mésophotomètre Matthews à verres fumés (²).

la figure 2 qui montre également en E le banc photométrique et en P le photomètre.

» La rosace comporte 24 miroirs trapézoïdaux donnant une inten-

(¹) D'après *Second progress report of the Committee for investigating the photometric values of arc lamps*, par H.-L. DOHERTY; *Electrical World*, 8 novembre 1902; et *l'Industrie électrique*, n° 238 du 25 novembre 1901, p. 521-526.

(²) Figure extraite de *l'Industrie électrique*, 25 novembre 1901.

sité de 15° en 15° , et faisant concourir sur le photomètre P tous les rayons de la source L (dont l'image apparente est en L'); l'œil placé en ce point aperçoit une couronne d'images dans laquelle manquent celles disposées sur la verticale, parce que les intensités correspondantes devraient être multipliées par $\sin \theta$.

» L'affaiblissement systématique des rayons est produit par des verres fumés fixés tous sur un même cercle d'un disque opaque D; les secteurs sont fumés avec des précautions spéciales de façon à réduire l'intensité de chaque rayon proportionnellement au sinus de l'angle vertical; ils sont couverts de deux plateaux de verre plans qui les protègent. Le professeur Matthews a pris la précaution de fumer chaque verre en tenant compte du coefficient de réflexion du miroir dont il reçoit les rayons, coefficient qui varie un peu d'un miroir à l'autre, de telle sorte que le coefficient d'affaiblissement total que subit chaque rayon est réellement proportionnel au sinus de l'angle; il faut beaucoup d'habitude et d'adresse pour obtenir ainsi une couche de noir de fumée ayant exactement la densité voulue.

» L'éclairement du photomètre produit par les 24 miroirs étant trop intense, a dû être affaibli au moyen d'un épiscotistère, avec roue à fentes radiales ω que l'on fait tourner à l'aide d'un moteur en avant du disque muni des ouvertures fumées; pour éviter toute cause d'erreur dans le cas des courants alternatifs, on a beaucoup multiplié le nombre de fentes (48); en outre, la constante de la roue a été déterminée, non par le calcul, mais par une expérience directe. On a vérifié également que la diffusion produite par les verres fumés ne produisait que des erreurs négligeables, dont il a été tenu compte du reste.

» L'éclairement de la seconde face du photomètre est obtenu par une source de lumière S mobile sur le banc photométrique, au moyen d'un miroir M, qui renvoie ces rayons sur le photomètre sous le même angle d'incidence que les rayons issus de la rosace des miroirs. Cette source S sert de tare et peut être comparée à un étalon B.

» La distance de la source à l'écran du photomètre est de 9^m .

» La formule de l'appareil s'établit facilement, en appelant :

d_s la distance de l'arc à l'écran du photomètre;

d_c la distance de la source de comparaison;

K_0 la constante de réflexion du miroir horizontal;
 K_g la constante de transmission du verre bien nettoyé;
 K_s la constante de réflexion du miroir de la source de comparaison;
 n, n' , le nombre de miroirs;
 K_w , la constante de la transmission de la roue à secteurs;
 f , le facteur de réduction dû à l'obliquité de l'incidence des rayons.

» L'éclairement produit par l'arc est

$$e = \frac{2 K_0 K_g K_w \sum_0^{\pi} I_{\Theta} \sin \Theta}{d_a^2}$$

et celui dû à la source de comparaison est

$$e_s = \frac{f K_s I_s}{d_s^2}.$$

On en déduit, en égalant, l'intensité moyenne sphérique

$$I_{ms} = \frac{\pi}{2n} \sum_0^{\pi} I_{\Theta} \sin \Theta = \frac{\pi K_s}{4n K_0 K_g K_w} \left(\frac{d_a}{d_s} \right)^2 I_s,$$

et l'on trouverait de même, pour l'intensité moyenne hémisphérique,

$$I_{mhs} = \frac{\pi}{2n'} \sum_0^{\frac{\pi}{2}} I_{\Theta} \sin \Theta = \frac{\pi K_s}{4n' K_0 K_g K_w} \left(\frac{d_a}{d_s} \right)^2 I_s.$$

Dans le cas particulier de l'appareil employé par M. Matthews, on avait une valeur numérique

$$I_{ms} = 1,17 \left(\frac{865}{d_s} \right)^2 I_s, \quad I_{mhs} = 2,01 \left(\frac{865}{d_s} \right)^2 I_s.$$

Un point intéressant encore à signaler dans cet appareil, c'est que les distances d_s que l'on mesure en déplaçant la source de comparaison, sont inscrites par l'expérimentateur sur un appareil enregistreur à cylindre au moyen d'un crayon porté par un doigt fixé au chariot portant la source de comparaison; on fait un certain nombre de pointés dont on détermine la moyenne après l'achèvement des expériences. Les grandes fluctuations d'intensité de l'arc dans le cas d'un arc enfermé n'exigeaient pas moins de 30 pointés.

» Dans un appareil du même genre un peu plus récent, les miroirs étaient fixés d'une manière un peu différente, chacun d'eux étant articulé en son centre sur une tige support, au moyen d'une genouillère qui permet de régler rapidement les inclinaisons.

» L'appareil à potence circulaire représenté à gauche de la figure 2 permettait de présenter successivement six lampes différentes au centre de la rosace.

» On peut encore, je crois, apporter des perfectionnements à ce genre d'appareils en supprimant les sujétions ennuyeuses du verre fumé et de l'épiscotistère. Il suffirait d'employer un seul écran diffusant E, placé au centre de convergence des rayons provenant de la rosace, ainsi que l'indique la figure 1, et d'éclairer le photomètre placé à une distance quelconque par cet écran diffusant jouant le rôle de source secondaire. Pour réduire les intensités lumineuses reçues par cet écran à travers les différentes ouvertures de la plaque opaque D, celles-ci seraient munies simplement de lentilles à œil-de-chat, toutes semblables, faisant sur l'écran E le foyer conjugué de la source L, et munies de diaphragmes ou œils-de-chat de sections proportionnelles aux sinus des angles correspondants.

» On recevrait ainsi sur l'écran E un groupe de petites images, se confondant en un seul spot quand l'écran serait placé juste au point de convergence des rayons. Il n'y aurait qu'un seul coefficient empirique englobant le coefficient de réflexion des miroirs et le coefficient de diffusion du verre opale. Les sections des œils-de-chat pourraient être déterminées empiriquement de façon à compenser les inégalités de coefficient de réflexion des miroirs, mais ces différences sont ordinairement négligeables.

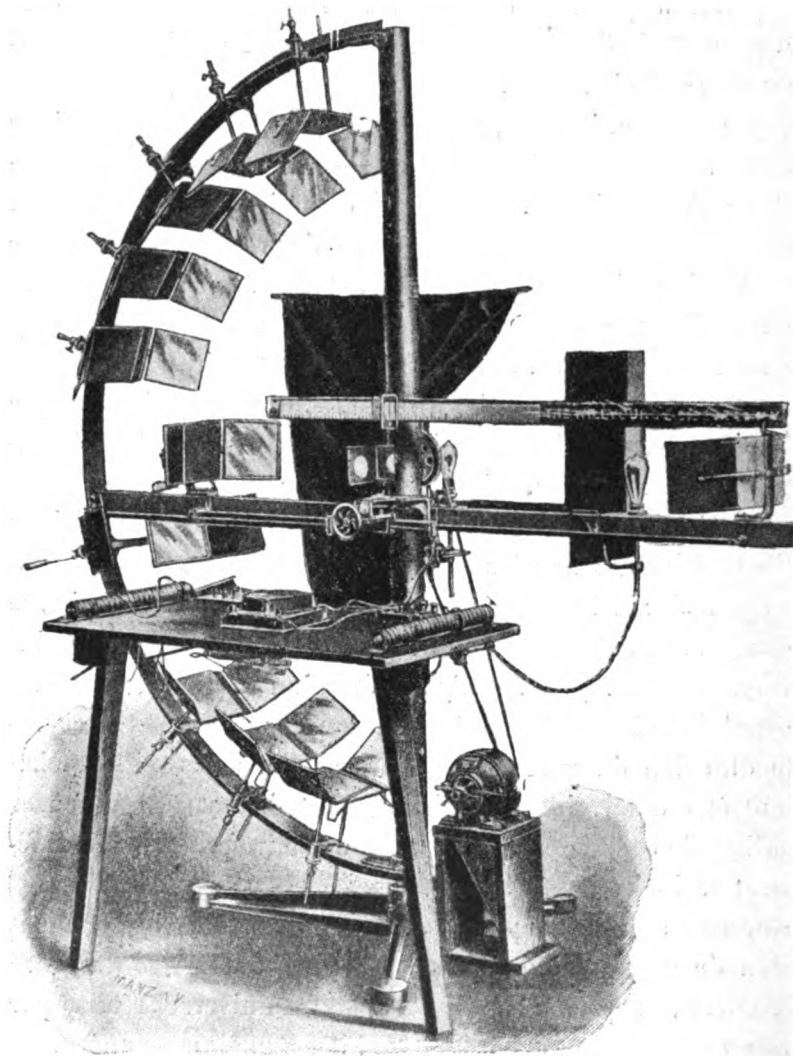
» Enfin, avec ce genre d'appareil, on peut éviter tout déplacement de l'étalon de comparaison en employant un photomètre du genre Bouguer-Cornu, en particulier le photomètre universel réalisé par l'auteur en collaboration avec M. Broca, il y a quelques années.

» M. Matthews a imaginé plus récemment un autre mésophotomètre présentant des dispositions notablement différentes pour l'étude de la moyenne sphérique des lampes à incandescence.

» Le principe est le même, en ce qui concerne l'emploi d'une série de miroirs distribués dans un plan méridien, mais le procédé d'affaiblissement des éclairagements des divers miroirs est différent et

dispense de l'emploi d'écrans auxiliaires : au lieu de faire intervenir des écrans absorbants, M. Matthews se sert simplement de la propriété connue des écrans diffusants parfaits. On sait que ceux-ci

Fig. 3.



Mésophotomètre Matthews à écran diffusant. Vue d'ensemble (¹).

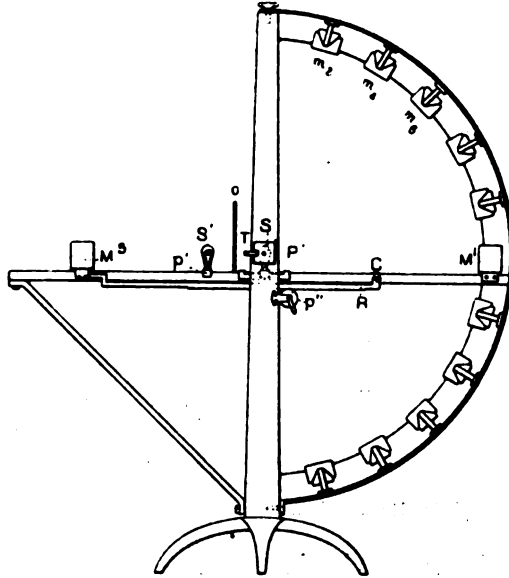
émettent, suivant la direction normale, une intensité lumineuse proportionnelle à l'éclairement produit par le faisceau incident, et

(¹) Cette figure et les quatre suivantes sont extraites de l'*Electrical World and Engineer*, t. XLII, p. 578.

qui varie proportionnellement à l'intensité lumineuse de celui-ci et au cosinus de l'angle d'incidence.

» Partant de cette idée, M. Matthews a décrit dans l'*Electrical World and Engineer*, tome XLII, page 578, l'appareil représenté dans son ensemble par la figure 3, en élévation par la figure 4 et en

Fig. 4.



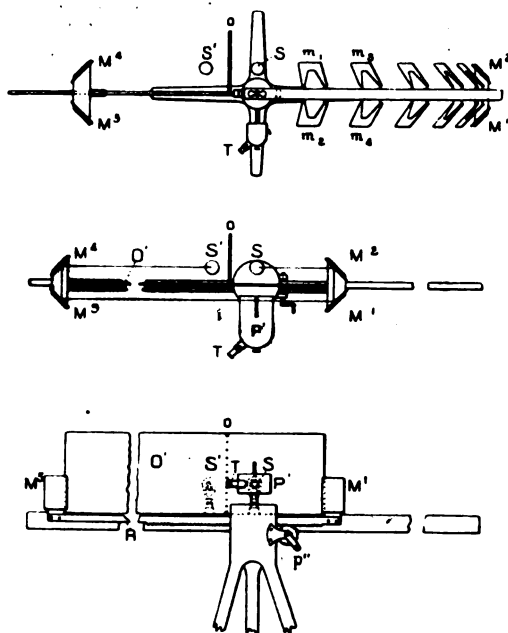
Mésophotomètre Matthews à écran diffusant. Élévation.

plan par les figures 5 et 6, cette dernière se rapportant particulièrement au banc photométrique. Il comprend onze miroirs doubles $M'm_2m_3...$ répartis le long d'un support en demi-cercle, réuni en haut et en bas à un pilier vertical. Chacun de ces doubles miroirs est formé de deux miroirs inclinés à 45° et réunis ensemble à une pièce centrale carrée portant deux tiges d'attache, qui coulissent dans des douilles à serrage fixées au support circulaire. La lampe à photométrer S est placée sur un côté du palier central derrière un rideau (sur la figure 3 le rideau est levé) et de l'autre côté est un photomètre de Bunsen, qui permet de la comparer à une autre lampe mobile S'. Le miroir M' correspondant à la direction horizontale est fixé sur le banc.

» Les onze miroirs, répartis de 15° en 15° autour du centre de la lampe S à photométrer, renvoient ainsi tous les rayons réfléchis

suivant ces onze directions, converger sur un même côté de l'écran photométrique P', tandis que l'autre côté de cet écran est éclairé

Fig. 5, 6, 7.



Mésophotomètre Matthews à écran diffusant. Plan et détails.

seulement par les rayons horizontaux de l'étalon de comparaison S'. On voit que l'éclairement total d'un côté de la lampe à étudier est

proportionnel à $\sum_0^{\pi} I_{\theta} \sin \theta$ comme précédemment ou plus exactement à

$$\frac{K_g K'_g D}{R^2} \sum_0^{\pi} I_{\theta} \sin \theta$$

en appelant K_g , K'_g les coefficients de réflexion de deux miroirs d'un miroir double et D le coefficient de diffusion de l'écran éclairé.

» Comme les coefficients de réflexion des différents miroirs ne sont pas tous rigoureusement semblables et que le coefficient D n'est pas rigoureusement constant pour toutes les incidences, comme on l'a supposé, l'appareil a besoin d'un tarage préliminaire, de façon à corriger les écarts qui peuvent exister sur ces facteurs; c'est pourquoi les miroirs sont munis de tiges à coulisses; on éloigne ou l'on approche chacun d'eux plus ou moins du centre, de façon à donner

à toutes les paires de miroirs le même facteur résultant sur le photomètre, c'est-à-dire $K_g K'_g D = \text{constante}$; cet étalonnement peut se faire successivement pour chaque miroir, en donnant à une lampe à incandescence placée au centre de l'appareil l'inclinaison correspondante, et comparant l'éclairement qu'elle produit à celui émis dans la direction horizontale par l'étalon lumineux servant de tare; on déplace le miroir de façon à retrouver exactement la même intensité pour la lampe centrale que celle mesurée horizontalement au moyen du miroir M^1 quand elle occupe sa position normale.

» Une fois taré ainsi, l'appareil permet de lire directement l'intensité moyenne dans un méridien en déplaçant le miroir mobile $M^3 M^4$, couissant sur le banc à l'opposé du miroir, jusqu'à ce qu'on réalise l'égalité d'éclairement du photomètre. Pour avoir l'intensité moyenne sphérique, on fait tourner la lampe à étudier autour de son axe au moyen d'un moteur électrique, comme l'a indiqué, en 1881, M. Crova. Les appareils de mesure et les rhéostats nécessaires pour toutes manœuvres sont fixés sur une tablette adossée à l'appareil.

» Quand on veut mesurer seulement le coefficient de réduction de la moyenne sphérique, c'est-à-dire son rapport à l'intensité moyenne horizontale, on enlève l'étalon T' et l'écran opaque O et il suffit de déplacer les miroirs $M^3 M^4$ pour égaliser les éclairagements des deux faces de l'écran produits par la même lampe.

» Enfin, on a prévu que l'appareil pourrait servir pour les usages photométriques ordinaires; il suffit alors de fermer tous les miroirs autres que ceux placés sur le banc photométrique et de fixer la paire $M^1 M^2$ sur la règle mobile R qui porte des miroirs $M^3 M^4$ comme l'indique la figure 7. En déplaçant cette règle, on égalise les éclairagements des sources S et S' de la même manière que si l'on déplaçait les deux lampes par rapport à l'écran, comme dans l'appareil Bunsen ordinaire. Cet appareil, très ingénieux, a reçu déjà de nombreuses applications aux États-Unis dans un certain nombre de laboratoires universitaires ou techniques, notamment au bureau d'essais des lampes de New-York; il a rendu assez populaire de l'autre côté de l'Atlantique la définition des lampes à incandescence par l'intensité moyenne sphérique et a fait faire ainsi un grand pas à la question de la détermination rationnelle de la puissance des lampes à incan-

désceñce. Il est parfaitement sûr et commode, et les seuls défauts qu'on puisse lui reprocher, à savoir une certaine complication de construction et de tarage et la nécessité de faire tourner la lampe sur elle-même au moyen d'un moteur électrique, sont peu importants en comparaison des avantages qu'il présente.

» L'inconvénient des dispositifs qu'on vient de décrire, c'est qu'ils exigent tous un procédé, plus ou moins complexe, d'affaiblissement des rayons envoyés par les miroirs, autres que ceux placés dans le plan horizontal. On peut simplifier, à ce point de vue, les mésophotomètres, en réalisant une *variante* ingénieuse, publiée pour la première fois par M. Alexandre Russell (¹), et qui consiste à faire varier, au lieu de l'intensité des rayons réfléchis par des miroirs également espacés, l'espacement même des miroirs. Tandis que, dans la disposition primitive du mésophotomètre, inspirée par le désir d'employer accessoirement les mêmes miroirs au relevé des courbes de répartition, ces miroirs étaient disposés de manière que leurs traces sur le plan méridien formassent un polygone régulier, dans la variante, ils sont répartis suivant des angles inégaux, de façon que leurs centres se trouvent au milieu des zones sphériques d'égale hauteur. Comme le montre la figure 8, on divise le cercle le long duquel sont répartis les miroirs dans le plan méridien, en segments horizontaux de hauteurs égales, en traçant des lignes horizontales, et l'on place les miroirs au milieu des segments des circonférences ainsi déterminées. Dans ces conditions, chaque miroir peut être considéré comme envoyant sur l'écran un faisceau réfléchi qui mesure l'intensité lumineuse *moyenne* reçue par la zone sphérique correspondante comprise entre deux plans horizontaux distants de h ; l'éclairement lumineux E total auquel l'écran est soumis à la distance R de la source, mesuré par le photomètre, indiquera donc la *somme* des n éclairéments moyens reçus par chaque

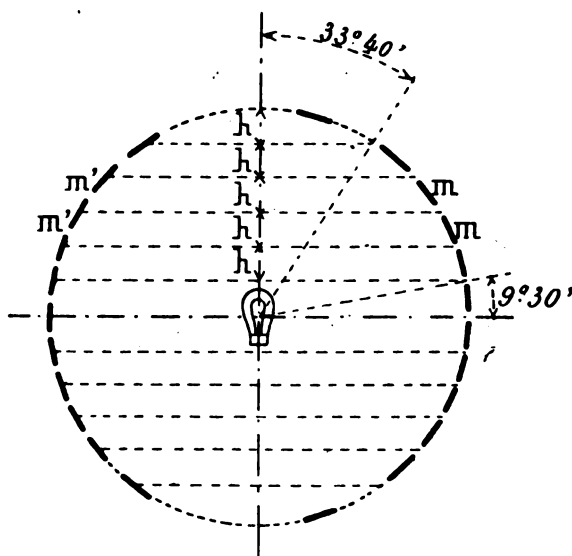
(¹) *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, mai 1903 et l'*Éclairage électrique*, 31 octobre 1903. M. Léonard a fait récemment connaître (*Éclairage électrique* du 23 juillet 1904) qu'il avait imaginé de son côté la même disposition, avec ce perfectionnement, que les miroirs du côté gauche devaient occuper des positions intermédiaires de celles des miroirs du côté droit (d'où augmentation de la précision, comme si l'on doublait le nombre des miroirs). Le nombre des miroirs devrait être de 24; l'angle des zones varie ainsi de 30° 30' à 33° 40'.

zone, et il suffit de le multiplier, comme on le sait, par la constante $2\pi Rh$ pour connaître le flux lumineux total Φ envoyé sur une sphère de rayon R environnant le foyer; pour tenir compte de l'absorption des miroirs, on appliquera, comme plus haut, un coefficient de réduction k . On a donc la valeur

$$\Phi = \frac{k 2\pi Rh \times E}{\cos \alpha} = \frac{2\pi k Rh}{\cos \alpha} \sum \frac{I}{R^2}$$

en appelant α l'angle d'incidence des rayons sur l'écran.

Fig. 8.



Principe des mésophotomètres à miroirs répartis par zones.

» Le dispositif présente l'avantage d'une grande simplicité, mais il n'est plus aussi symétrique que les dispositifs précédents pour tracer la courbe de répartition des rayons; celle-ci ne se trouve plus aussi bien déterminée aux environs de la verticale. Suivant le but qu'on poursuit, on pourra donc préférer l'un ou l'autre des types de mésophotomètre; par exemple, pour les lampes à arc où il y a un réel intérêt à connaître exactement la répartition de la lumière au-dessous de la lampe, il vaudra mieux conserver les miroirs uniformément répartis angulairement, tandis que, dans la photométrie des lampes à incandescence, la variante à miroirs répartis par zones simplifie les tarages et la construction.

III. — LUMENMÈTRES.

« On peut définir les lumenmètres : des appareils qui ont pour but d'intégrer le flux total par une seule opération, de façon plus parfaite que les intégrateurs à miroirs qu'on vient d'étudier, et en recourant aux propriétés des diffuseurs par réflexion ou par transmission (1).

» C'est en effet un caractère commun de toutes les méthodes que je vais décrire, qu'elles ne font pas agir la lumière émise par la source à mesurer, directement sur un photomètre, mais d'abord sur un écran diffusant de forme convenable, qui sert de source secondaire de lumière pour éclairer le photomètre. Il est assez curieux qu'on n'ait pas eu plus tôt l'idée, qui est cependant fort simple, de concentrer l'action de tous les rayons issus d'une source sur un écran de ce genre; car on sait, depuis longtemps, que les écrans diffusants peuvent, moyennant certaines précautions, produire des rayons réfléchis ou diffusés d'intensité proportionnelle au flux lumineux qu'ils reçoivent.

» Les diffuseurs par *transmission* ou par *réflexion* présentent des propriétés analogues qui peuvent être représentées par deux indicatrices :

» 1^o Une indicatrice de diffusion, correspondant à un angle d'incidence constant;

» 2^o Une indicatrice de diffusion sous angle d'émission constant et sous angle d'incidence variable.

» En pratique, aucun diffuseur par transmission n'est parfait. Les uns, comme le verre dépoli, les verres opales minces, sont, en réalité, partiellement transparents et ne diffusent qu'imparfaitement la lumière; ils présentent un renforcement plus ou moins accusé de l'intensité au voisinage de la direction naturelle des rayons. Dans toutes les applications photométriques, ils doivent être écartés et nous ne considérons dans ce qui suit que les diffu-

(1) Voir la série d'articles publiés par l'auteur dans l'*Éclairage électrique* de 1895, 2^e trimestre, p. 57, 385, 406, 538, 583.

seurs réels ou orthotropes. Leur indicatrice de diffusion est un œuf plus ou moins allongé contenu à l'intérieur de la sphère théorique; cependant l'indicatrice de certains verres opales, tels que l'albatrine de Baccarat dont j'ai introduit l'emploi en photométrie pour ce motif, se confond avec la sphère suivant un angle très étendu autour de la normale et l'on ne fait pas grande erreur en leur appliquant la loi du cosinus (¹).

» Il en est de même des indicatrices de transmission, elles sont bien tangentes à la sphère théorique au sommet et s'en écartent notablement quand les incidences dépassent une certaine limite, par suite de l'augmentation de la lumière perdue par diffusion sur la face d'entrée. Pour le papier, cette variation est rapide; on obtient de meilleurs résultats avec l'albatrine ou même le verre opale dépoli sur la face d'entrée; la loi du cosinus est sensiblement réalisée pour l'albatrine jusqu'à un angle d'incidence de 40°, à condition de dépolir la face d'entrée pour éviter la réflexion vitreuse sur la face antérieure.

» Contrairement à ce qui a lieu pour les diffuseurs par transmission, on doit, pour les diffusions par réflexion, choisir des substances aussi opaques que possible et leurs propriétés dépendent surtout de la nature de la surface.

» Fort heureusement, les surfaces bien blanches et bien mates suivent avec une perfection plus grande et souvent complète la loi du cosinus aussi bien quand on fait varier l'angle d'émission que quand on fait varier l'angle d'incidence; leurs deux indicatrices sont des sphères. En particulier, ce fait a été mis en évidence, pour le marbre dépoli, par Messerschmidt (²). J'ai signalé qu'il en est de même pour le biscuit de porcelaine ou pour la tôle émaillée à plusieurs couches, dépolie à l'acide (³). On obtient des résultats encore plus parfaits, en recouvrant l'émaillage mat d'une peinture encore plus mate formée de craie ou de magnésie délayée dans le silicate de potasse ou le silicate de soude; cette peinture peut être facilement

(¹) Cf. *Détermination de l'intensité moyenne sphérique des sources de lumière* (*L'Éclairage électrique*, 1895, p. 407 et 584).

(²) *Annales de Wiedmann*, octobre 1888, p. 867 (*Pl. VII*).

(³) Pour la description de la méthode employée pour ces mesures, voir *L'Éclairage électrique*, 1895, *loc. cit.*

renouvelée et donne une surface parfaitement blanche, suivant très bien la loi du cosinus. Les résultats sont ainsi plus satisfaisants qu'avec les écrans en papier ou en opale.

» Nous pouvons maintenant décrire les différents appareils *lumenmètres* en supposant qu'on leur applique des diffuseurs, par transmission ou par réflexion, suivant la loi du cosinus.

» Les méthodes sur lesquelles ils reposent et que j'ai déjà décrites ailleurs ⁽¹⁾, et employées pour l'étude du rendement des arcs électriques ⁽²⁾ peuvent être divisées en trois catégories :

» 1° La méthode de projection par miroir intégrateur ;

» 2° La méthode d'éclairage secondaire intégré par zones diffusantes en forme de cônes ;

» 3° Enfin la méthode d'intégration de l'éclairement moyen d'un diffuseur sphérique dans lequel on enferme la source de lumière.

» 1° *Lumenmètre à miroir de projection.* — Le principe consiste à recueillir le flux lumineux produit par la source, ou une fraction déterminée de ce flux, à l'envoyer par un miroir de projection sous une incidence sensiblement constante (pour éviter les causes d'erreur dues à l'imperfection du diffuseur) sur un écran diffuseur par transmission ou par réflexion, qui éclaire à son tour, sous un angle à peu près constant, un photomètre ordinaire, dont l'écran de comparaison est éclairé d'autre part par une source étalon I.

» L'idéal serait de recueillir ainsi la moitié du flux au moyen d'un projecteur parabolique ou elliptique, en plaçant un petit écran devant la source, puis de refaire l'opération après avoir tourné celle-ci de 180°. Mais on en est empêché, en général, par les variations très grandes du pouvoir réflecteur des miroirs en fonction de l'incidence, même de ceux qui sont construits en verre argenté, les seuls applicables en pratique ; ces variations atteignent 6 à 7 pour 100 entre 0° et 70°.

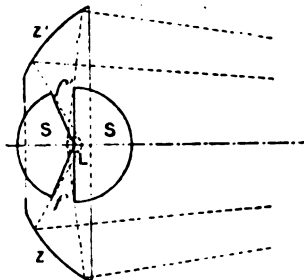
» Pour faire disparaître cette cause d'erreur, il suffit, pour toutes les sources qui sont symétriques autour de la verticale, comme

(1) *L'Éclairage électrique*, 2 mars et 29 juin 1895.

(2) *Ibid.*, 13 février et 20 mars 1898, et *Congrès international des Électriciens* Paris, août 1900.

c'est le cas ordinaire, de limiter le flux recueilli par le miroir à une fraction seulement de la sphère comme le montre la figure 9, en

Fig. 9.



Principe du lumenmètre à miroir de projection.

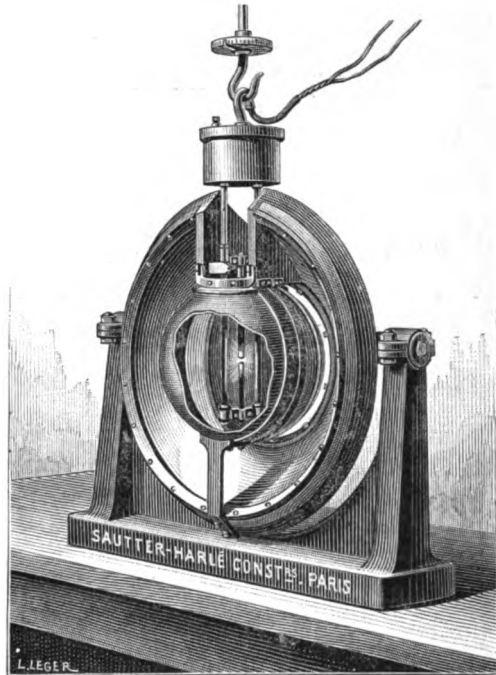
donnant au miroir elliptique ou parabolique la forme d'une zone de révolution autour d'un axe horizontal, et en entourant la source de lumière L d'une sphère opaque SS' munie de deux ouvertures en forme de fuseaux symétriques limitées par deux plans verticaux diamétraux dont l'angle dièdre est, par exemple, de 18° , de sorte qu'on recueille le dixième du flux. Il faudrait dix mesures successives pour étudier rigoureusement tout le flux par partie, mais, en général, une seule mesure suffit ou deux mesures prises à angle droit. Un lumenmètre de ce type a été réalisé, en 1894, avec beaucoup de succès par la Maison Sautter-Harlé sous la forme que représente la figure 10 ('). Il est en service au Laboratoire Central d'Électricité depuis quelques années. Une ouverture circulaire, ménagée à la partie supérieure de la sphère, permet d'introduire la source de lumière à étudier, suspendue à un crochet à alidade graduée. Tout l'appareil est d'ailleurs mobile autour d'un axe horizontal qui permet de le retourner. Le miroir a été taillé suivant les procédés spéciaux brevetés par ces constructeurs pour la fabrication de projecteurs paraboliques. La sphère opaque évite toute lumière parasite dans la salle photométrique.

» La constante de proportionnalité de cet appareil se détermine une fois pour toutes par un tarage de toute l'installation, de façon à englober dans un seul coefficient les réductions dues à l'absor-

(') Voir, au sujet de cet appareil, l'intéressante Communication de M. Jean Rey (*Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, 1^{er} mai 1895, p. 211).

ption du miroir, à la constante de diffusion de l'écran, et même, s'il y a lieu, à la constante du photomètre. On place dans l'appareil une lampe à arc, préalablement étudiée avec soin avec le tracé de la

Fig. 10.



Lumenmètre à miroir de projection.

courbe photométrique intégrée par la méthode de Rousseau. Connaissant le flux de cette lampe à un régime donné, il suffit de noter l'intensité lumineuse lue au photomètre ou la position de l'écran photométrique sur le banc photométrique, pour savoir que cette intensité ou cette position correspondent au flux donné. Toutes les autres intensités lues dans la suite n'auront qu'à être multipliées par le même coefficient de proportionnalité pour qu'on connaisse le flux correspondant. Une autre méthode, que j'ai employée pour dispenser de la connaissance complète d'une source de lumière, consiste à placer dans le lumenmètre un bec Auer puissant dont on a déterminé l'intensité horizontale et à limiter par des calottes sphériques l'ouverture des secteurs entre deux cercles horizontaux voisins de l'équateur; on délimite ainsi un angle solide d'émission connu géométriquement et dans lequel l'intensité lumineuse émise

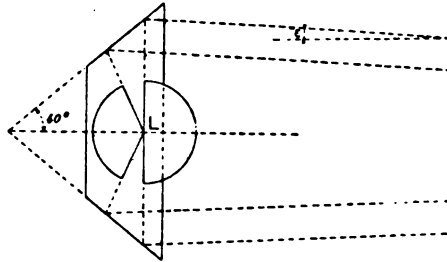
par la source est sensiblement égale à l'intensité horizontale connue. On fait une lecture correspondante au photomètre et il suffit de multiplier l'intensité horizontale par l'angle solide pour connaître le flux correspondant à cette lecture et, par suite, le coefficient de proportionnalité. Mais cette opération est rendue assez difficile par la puissance lumineuse assez faible mise en jeu, qui ne donne pas des éclaircissements aussi forts que ceux obtenus dans le fonctionnement ordinaire de l'appareil. La première méthode de tarage paraît donc préférable.

» 2° *Lumenmètre à cône diffusant*. — Le dispositif précédent a l'inconvénient d'être coûteux, par suite de la perfection de la taille du miroir (bien qu'on puisse à la rigueur le remplacer par un miroir en verre bombé moins parfait, mais qui peut donner lieu à des divergences exagérées des rayons réfléchis). L'argenture n'est pas inaltérable, surtout quand on chauffe trop le miroir; enfin et surtout, ce dispositif ne se prête qu'à l'étude des sources de lumière à peu près symétriques et de petites dimensions, telles que l'arc électrique (car des sources plus grandes donnent lieu à des rayons trop divergents à la sortie de la sphère opaque).

» Or, on a souvent besoin de lumenmétriser des sources de grand volume et de grande puissance, en particulier, des lampes à arc recouvertes de globes pouvant atteindre de 0,30 à 0,40 m de diamètre, en vue de déterminer l'absorption de ceux-ci. Nous avons donc dû imaginer un autre type d'appareils s'appliquant à des sources de ce genre quand elles sont à peu près symétriques autour de la verticale. Le principe en est analogue, en ce qui concerne l'utilisation d'une fraction connue du flux limitée entre des plans méridiens; mais le miroir projecteur est remplacé par une zone simplement diffusante, en forme de cône entourant la source de lumière. La figure 11 indique le schéma de cette disposition: le cône, formé d'une substance diffusante aussi parfaite que possible (tôle émaillée mate recouverte de la peinture silicatée indiquée ci-dessus), est éclairé directement par la source de lumière et renvoie la lumière diffusée sur un photomètre placé à une distance suffisante pour que l'angle d'émission des rayons diffusés puisse être considéré comme sensiblement constant en tous les points de ce

cône, ainsi que la distance de ce point au photomètre. Comme la source est de grande dimension, on ne peut limiter l'angle d'émis-

Fig. 11.

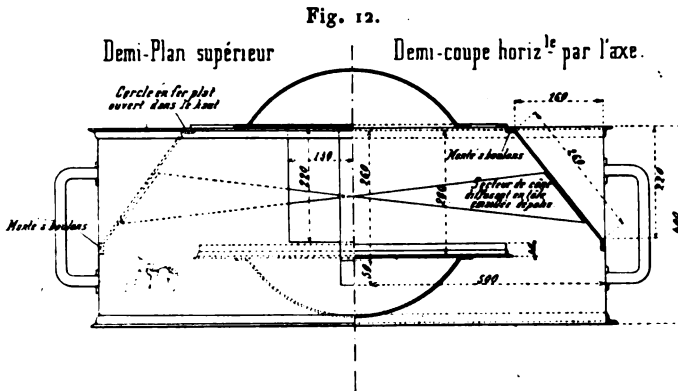


Principe du lumenmètre à cône diffusant.

sion de ces rayons par une sphère opaque percée de fuseaux comme dans le lumenmètre à miroir, mais on découpe le cône diffusant lui-même en le limitant par deux plans méridiens verticaux comme l'indique la figure 11. De cette manière, le cône reçoit le flux limité par ces deux plans, le centre de la source (qui est de révolution par hypothèse) étant placé suivant l'axe vertical de l'appareil; en effet, les lignes de propagation du flux autour d'une source symétrique suivent les plans méridiens. La surface diffusante présentant la propriété de la loi du cosinus, les variations de l'angle d'incidence sont sans influence, et chaque portion du diffuseur émet, suivant un angle d'émission constant, une intensité lumineuse précisément proportionnelle au flux reçu. En plaçant le photomètre à 7 ou 8 m, on réduit justement cet angle d'émission à une valeur sensiblement constante. L'angle générateur du cône, choisi comme le plus commode pour la construction de l'appareil, et qui supprime en outre tout effet de réflexion parasite éventuelle dans la direction du photomètre, est un angle de 40 degrés. L'angle dièdre embrassé par chaque zone est de 14 degrés. La figure 12 montre en plan et la figure 13 en élévation les dispositions de l'appareil pour l'étude d'arcs sous globes de 0,30 au maximum. Les dimensions nécessaires pour l'emploi de globes plus gros varieront proportionnellement aux diamètres maxima de ces globes.

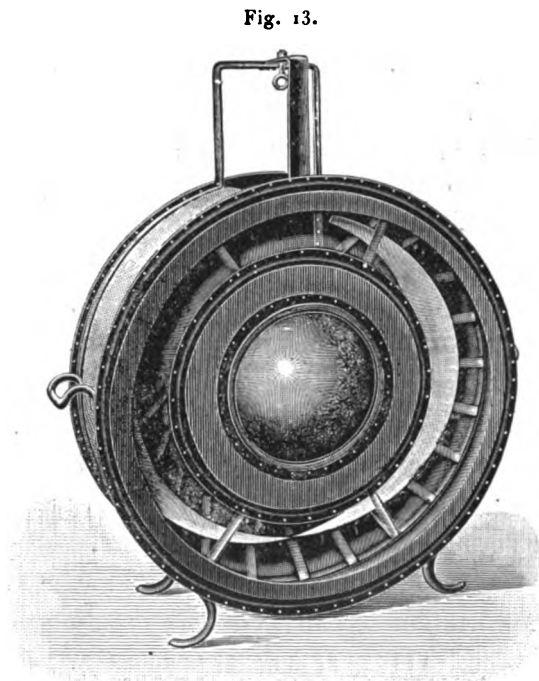
» On place le photomètre sur l'axe horizontal de l'appareil et à une distance suffisante en avant du lumenmètre pour que l'écran photométrique reçoive des rayons diffusés de toute la surface des deux secteurs. Grâce à la forme de l'enveloppe extérieure du lumen-

mètre, aucune lumière directe ne tombe sur le photomètre, ni dans la salle. A la partie supérieure de l'enveloppe est disposée, pour la



Lumenmètre Blondel à cône diffusant. Plan.

suspension des lampes à arc dans l'appareil, une potence métallique munie d'un limbe qui détermine les azimuts. Si l'on obture



Lumenmètre Blondel à cône diffusant. Ensemble.

l'un des deux secteurs par un voile noir, on peut étudier la répartition du flux dans une série d'azimuts; mais, en général, on

découvrir à la fois les deux secteurs opposés pour compenser, comme dans la méthode de Wedding, les variations dues à la rotation de l'arc autour de ses charbons. On peut photométrer, en général, une lampe à arc de cette manière par une seule lecture ou par deux, en lui donnant un déplacement de 90 degrés au moyen du limbe gradué.

» Le tarage de l'appareil se fait de la même manière que pour le lumenmètre à miroir, c'est-à-dire au moyen d'un arc déjà étudié par sa courbe photométrique.

» On remarquera que ce système suppose un écran photométrique fixe, comme c'est, par exemple, le cas des photomètres à œil-de-chat ; mais on peut aussi l'appliquer à un photomètre Bunsen si on laisse l'écran du Bunsen fixe et si l'on déplace seulement l'étalon de comparaison le long du banc photométrique. On peut enfin employer un Bunsen ordinaire à écran mobile, *si l'on a beaucoup de lumière*, en éclairant par le lumenmètre un écran diffusant secondaire en forme de disque placé à poste fixe à l'une des extrémités du banc photométrique. Mais les deux premiers dispositifs sont préférables parce qu'ils assurent un meilleur éclairément.

» Cet appareil, spécialement destiné, comme on l'a dit, aux sources de dimensions considérables, présente quelques causes d'erreur qu'il convient de signaler : la suppression de la sphère à fuseaux du type projecteur peut entraîner une erreur sur le fractionnement du flux total par les plans méridiens, lorsque la distribution des rayons n'est pas bien symétrique autour de l'axe vertical ; d'autre part, les réflexions de l'écran sur lui-même contribuent à en accroître l'éclairément total dans une proportion mal déterminée et qui peut être modifiée par la loi de répartition des rayons de la source elle-même et par l'absorption des rayons réfléchis lorsqu'ils rencontrent la source de lumière ou son globe.

» Cependant, toutes ces erreurs, cumulées même avec celles qui résultent d'une variation de l'angle d'émission d'un point du cône à l'autre, restent faibles et ne dépassent pas l'ordre de précision assez médiocre (5 à 10 pour 100 au plus) que l'on peut espérer réaliser dans la photométrie de l'arc électrique, par suite des variations spontanées de l'intensité lumineuse de l'arc. L'appareil est donc suffisamment proportionné au but à réaliser dans ce genre de

mesures. Il ne convient d'ailleurs qu'à l'arc électrique sous globe ou les sources analogues *très puissantes*.

» 3° *Lumenmètre sphérique diffusant*. — Cette dernière méthode, que l'expérience m'a démontré être la plus pratique dans la plupart des cas, repose sur un principe très simple que j'ai indiqué en 1895 ⁽¹⁾ et que je rappelle : on place la source à étudier à l'intérieur d'une sphère en substance diffusante homogène, jouissant autant que possible des propriétés d'un diffuseur parfait. Dans ces conditions, l'éclat normal moyen du diffuseur, soit par transparence, soit par réflexion, est proportionnel au flux total de lumière émis par la source.

» En effet, le flux total F' reçu par la sphère est proportionnel au flux F émis par la source, déduction faite de l'absorption, et donne lieu, par conséquent, à un flux diffusé proportionnel, puisque l'éclat de la surface diffusante est, en chaque point, proportionnel à l'éclairement intérieur.

» L'éclat moyen, par définition, s'obtient en intégrant l'éclat sur toute la surface de la sphère et en divisant l'intégrale par la surface de la sphère. On a donc, en appelant E l'éclairement intérieur, et k un facteur de réduction, qui tient compte de l'absorption et du pouvoir réflecteur, comme on l'expliquera ci-dessous, i l'éclat du corps diffusant en un point de la surface suivant la normale, K et K' de constantes convenables, les équations évidentes

$$i = k E,$$

$$(1) \quad i_{\text{moy}} = K E_{\text{moy}} = K \int \frac{E \, ds}{S} = \frac{K F'}{S} = \frac{K' F}{\pi D^2}.$$

Toute la question revient par conséquent à intégrer, d'une manière pratique, l'éclairement moyen. Le procédé différera suivant qu'on prendra l'éclairement de la lumière transmise par le diffuseur ou l'éclairement de la lumière réfléchie. J'ai indiqué la première application seule en 1895.

» Elle consiste à placer la sphère diffusante, construite en verre opale ou mieux en albatrine, dans le lumenmètre à miroir décrit

(1) *L'Éclairage électrique*, loc. cit., p. 512.

ci-dessus, à l'intérieur de la sphère opaque dont on a parlé, et à éclairer par les rayons réfléchis, non pas un écran auxiliaire, mais le photomètre lui-même, placé au foyer conjugué de ce miroir elliptique, dont l'un des foyers est le centre de la sphère. Dans ces conditions, si l'on a soin de modifier légèrement la forme de l'ouverture des fuseaux de la sphère pour compenser l'effet de la variation de distance des différents éléments du miroir à celle-ci, l'éclairement produit sur le photomètre est l'intégrale des éclairéments élémentaires le long d'un méridien de la sphère. Si donc la source est de révolution autour de l'axe vertical, comme c'est le cas ordinaire, on obtient ainsi un éclairément proportionnel à l'éclairément moyen de la sphère et, par suite, au flux lumineux total. Je ne donnerai pas ici le détail de la démonstration, qui est un peu compliquée et pour laquelle je renvoie à mon précédent travail.

» Cette disposition présente quelque difficulté pour la réalisation d'un bon écran sphérique diffuseur par transmission, parce qu'on trouve difficilement des globes présentant des épaisseurs uniformes; en outre, l'intégration par miroir elliptique est une sujétion gênante; elle n'est exacte que si la source est de révolution et placée dans l'axe vertical de l'appareil.

» Mais on modifie fort heureusement ce principe du diffuseur sphérique, en utilisant la réflexion diffuse au lieu de la transmission; en ayant soin naturellement d'occulter la lumière tombant directement sur une petite plage de la sphère diffusante (¹), l'éclairement résiduel que celle-ci reçoit par la seule diffusion des parois environnantes (à condition que cette diffusion ait lieu suivant la loi de Lambert) est justement proportionnel au flux total et constitue par conséquent l'intégrale cherchée de l'éclairément moyen.

» Cette propriété est facile à établir de la manière suivante : comme on l'a dit plus haut, l'éclairément moyen de la sphère produit par la source lumineuse est proportionnel au flux lumineux lui-même, quelle que soit du reste la position de la source dans la

(¹) Cette modification a été indiquée pour la première fois par M. Ulbricht, qui semble avoir ignoré mes travaux antérieurs (*Elektrotechnische Zeitschrift*, 19 juillet 1900, p. 595). L'appareil qu'il avait réalisé consistait en un simple globe en verre opale blanchi intérieurement, qui laissait découverte une plage circulaire de 0,11 m de diamètre.

sphère. En effet, si l'on appelle I l'intensité lumineuse suivant une certaine direction et r la distance de la source à un élément ds de la paroi rencontrée suivant cette direction, l'éclairement direct de cet élément infiniment petit de surface est donné par l'expression connue

$$(2) \quad e = \frac{I}{r^2 \cos \alpha},$$

en appelant α l'angle d'incidence des rayons sur l'élément ds . Soient un autre élément ds' en un point quelconque de la sphère, et ab la ligne qui joint les centres des deux éléments, β et γ , les deux angles de cette ligne avec les normales aux éléments ds et ds' (dans une sphère β et γ sont égaux).

» La plage ds' recevra de ds un éclairement proportionnel à celui e de ds et représenté, en vertu de la loi de Lambert, par l'expression

$$(3) \quad \frac{e \, ds \times \cos \beta \cos \gamma}{r^2} = \frac{e \, ds}{D^2},$$

en appelant D le diamètre de la sphère. En intégrant une expression de ce genre, qui est indépendante de la position de ds' pour la sphère tout entière, on voit que l'éclairement parasite e_p de chaque élément, provenant d'une réflexion diffuse sur la sphère, est proportionnel à l'éclairement moyen de cette sphère et, par conséquent, en vertu de ce qui précède, est proportionnel à l'intensité moyenne sphérique ou au flux lumineux total. D'autre part, chaque élément produit un éclairement uniforme de la sphère, comme le montre l'équation qu'on vient d'indiquer, les réflexions parasites auront alors seulement pour effet d'accroître l'éclairement de toute la sphère proportionnellement à l'éclairement moyen produit directement par la source; l'éclairement moyen sera donc en définitive proportionnel au flux. Si l'on appelle α la perte par absorption subie par la lumière au contact des parois de la sphère, on peut préciser ces conditions par les équations suivantes (qui constituent, je crois, une façon nouvelle de traiter le problème de l'éclairement de l'enceinte).

» Soient :

e , l'éclairement direct de la plage ds ;

e' , son éclairement parasite;

E , l'éclairement total;

i , l'éclat intrinsèque suivant la normale à ds .

» Écrivons d'abord que le flux absorbé par les parois de la sphère est égal au flux lumineux fourni par la source.

$$(4) \quad a \int E \, ds = F.$$

Puis la valeur de E ,

$$(5) \quad E = e + e' = \frac{I}{r^2} + \int \frac{i \, ds}{D^2}.$$

» Il nous reste à déterminer i en fonction de l'éclairement E ; il suffit de remarquer que le rayonnement total de ds , égal, comme on le sait, à πi , doit être égal au flux de lumière reçu par éclairement, diminué de la portion perdue par absorption; donc

$$\pi i = (1 - a)E,$$

d'où

$$i = \frac{(1 - a)E}{\pi}.$$

» En substituant dans (3), il vient

$$E = \frac{I}{r^2} + \frac{1 - a}{\pi D^2} \int E \, ds,$$

ou, en tenant compte de (4),

$$(6) \quad E = \frac{I}{r^2} + \frac{1 - a}{a \pi D^2} F,$$

$$(7) \quad e' = \frac{1 - a}{a \pi D^2} F,$$

ce qui revient à faire dans la relation générale (1)

$$K' = \frac{1 - a}{a}.$$

Cette dernière expression représente l'éclairement parasite en tout point de la sphère, quand on intercepte les rayons directs en ce point.

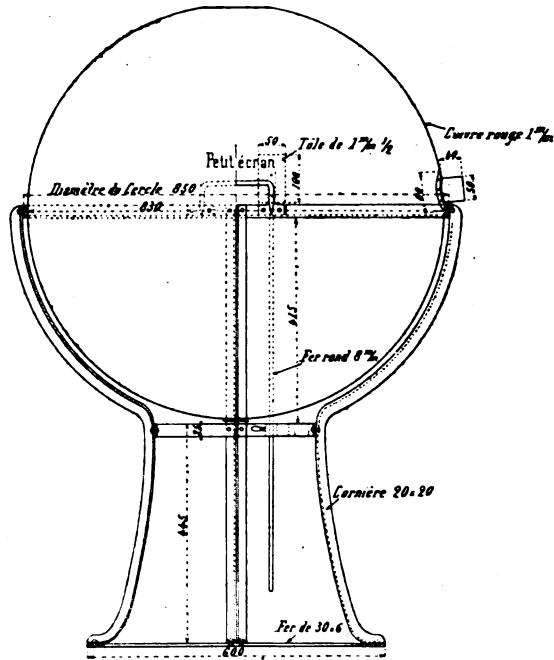
» La valeur de a , coefficient d'absorption, importe peu; il suffit de dire qu'en pratique elle s'écarte peu de la valeur 0,1. Les équations ci-dessus montrent qu'il y a proportionnalité de l'éclairement en un point quelconque de la sphère diffusante au flux total, pourvu

qu'on supprime l'éclairement direct sur la plage considérée; cela est facile à l'aide d'un petit écran obturateur, qu'on interpose entre la source lumineuse et la plage d'épreuve, à condition que la source ne soit pas trop volumineuse et que la surface de l'écran soit négligeable par rapport à celle de la sphère. D'ailleurs, pour réduire autant que possible l'influence perturbatrice de l'écran et des organes de la lampe qui pénètrent à l'intérieur du lumenmètre, on doit recouvrir ceux-ci d'une peinture blanche diffusante analogue à celle de la sphère.

» Au lieu d'un globe de verre, qu'il est toujours difficile d'obtenir parfaitement sphérique, et dont les dimensions sont forcément limitées à environ 0,40 m, j'emploie une sphère en tôle de fer ou de cuivre, exécutée par emboutissage, en deux calottes hémisphériques, qui peuvent se séparer aisément pour visiter et nettoyer l'intérieur de l'appareil. Cette sphère est recouverte intérieurement tout d'abord d'un émail fixe, puis de couches de peinture au silicate et à la craie comme les autres lumenmètres; elle est munie d'une ouverture circulaire de 5 cm de diamètre environ, portant un tube de lunette dans lequel est enchâssée la plage d'épreuve, formée d'un verre opale bombé et dépoli ayant le même rayon de courbure que la sphère; un diaphragme extérieur limite avec précision la dimension agissante de ce verre opale par rapport au photomètre et permet de réduire plus ou moins cette action en réduisant le diamètre du diaphragme. L'éclairement produit par cet élément diffusant sur un photomètre placé à une distance invariable mesure, à une constante près, le flux de lumière total émis dans la sphère, quelle que soit la position de la source de lumière dans celle-ci. Le petit écran intérieur, formé d'un rectangle de tôle également émaillé en blanc, est fixé à l'extrémité d'une tige verticale qui coulisse dans une monture placée au-dessous de la calotte inférieure et solidaire du pied de l'appareil; on peut régler facilement la position de cet écran en hauteur et en orientation, et le remplacer au besoin par un autre de dimensions proportionnées à celles de la source à étudier. Il est désirable, dans tous les cas, que l'angle sphérique qu'il sous-tend, et ayant le centre de la source comme sommet, soit aussi petit que possible, et, dans ce but, il y a intérêt à donner à la sphère un diamètre aussi grand que possible; on

diminue également de cette manière l'influence nuisible des occultations produites par les tiges des lampes. C'est ainsi que nous sommes conduits à construire des sphères de 83 cm' de diamètre comme celle représentée par la figure 14. Il serait même désirable

Fig. 14.

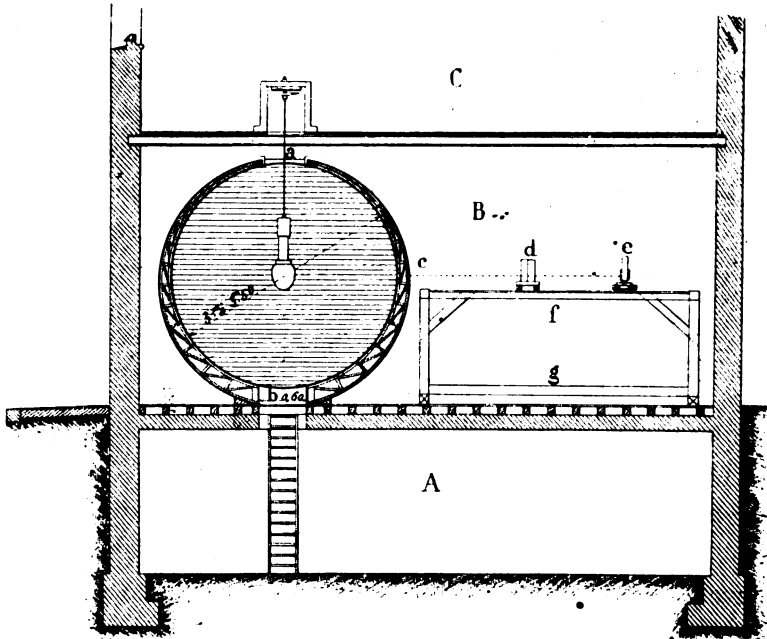


Lumenmètre sphérique Blondel.

d'employer des diamètres encore plus grands, si la construction des sphères embouties ne devenait pas très difficile au delà de 1 m de diamètre. Je conseille alors d'établir une salle d'épreuve, grande comme une chambre et de forme sphérique (3 m à 3,50 m de diamètre) en construisant dans une pièce carrée, comme le représente la figure 15, tout un habillage intérieur en latte et en plâtre, maintenu rigide par des méridiens en treillis de cornières et fers méplats (ou en bois analogues), et accessible par des ouvertures ménagées en haut et en bas; on pourra, dans une sphère de ce genre, lumenmétrer avec précision, non seulement des sources de petites dimensions, comme les arcs et les grosses lampes à incandescence par le gaz, mais encore des lampes sous globes ou de grosses sources lumineuses de type quelconque.

» Il convient seulement de remarquer, d'après la formule (7), que l'éclairement de la plage photométrique est inversement propor-

Fig. 15.



Grand lumenmètre sphérique universel Blondel.

tionnel au carré du diamètre de la sphère et que les dimensions de celles-ci doivent donc être proportionnées aux intensités lumineuses des sources que l'on désire étudier, si l'on ne veut pas manquer de lumière pour les lectures photométriques. A ce point de vue, les diamètres de 0,50 m à 0,80 m peuvent être adoptés pour l'étude des lampes à incandescence, tandis qu'ils sont plutôt trop faibles pour l'étude des lampes à arc. On dispose heureusement, pour réduire la lumière agissant sur le photomètre, du diaphragme indiqué ci-dessus; on peut aussi employer des verres d'opacité différente, grâce au système de montage de ceux-ci dans une lunette qui les rend facilement interchangeables.

» L'ensemble des deux calottes hémisphériques est supporté par un trépied métallique qui permet d'introduire des lampes à gaz ou à incandescence, si on le désire, par une ouverture inférieure, de façon que l'appareil soit d'un emploi universel. Les calottes supérieure et inférieure, munies d'ouvertures convenables, sont interchan-

geables et permettent l'introduction facile de toutes espèces de lumière par le haut ou par le bas de l'appareil; des obturateurs également émaillés permettent de fermer plus ou moins ces ouvertures de façon à éviter les pertes de lumière.

» Le tarage de l'appareil se fait en une seule opération, de façon à englober dans une seule constante tous les effets de la diffusion intérieure, de la diffusion par le verre opale, des pertes dans le photomètre, etc. Il suffit d'introduire dans l'appareil une source dont le flux lumineux soit connu par le tracé préalable de ma courbe photométrique. Plus simplement, dans les lumenmètres de petites dimensions, on peut introduire une lampe à incandescence à filament rectiligne vertical, de grosse section, dont on a mesuré préalablement l'intensité maxima dans le plan horizontal. En effet, le flux d'une lampe de ce genre exprimé en lumens est exactement égal numériquement à π^2 fois l'intensité lumineuse maxima exprimée en bougies décimales ⁽¹⁾.

» Le lumenmètre sphérique peut être employé avec n'importe quel photomètre, notamment avec le Bunsen, puisque sa plage d'épreuve peut servir de source secondaire; il suffit de la placer à l'extrémité du banc photométrique. Son emploi est également très facile avec les photomètres destinés aux mesures d'éclairement, notamment le photomètre universel imaginé par l'auteur avec la collaboration de M. Broca ⁽²⁾.

» Avec ce dernier appareil, s'il y a trop peu de lumière, on peut supprimer l'écran ordinairement employé, en appliquant l'un de ses tubes contre le verre opale du lumenmètre qui en tient alors lieu.

» La figure 16 représente (avec un appareil de 0,25 m) le montage ainsi réalisé sous une forme très condensée, et qui permet, en outre, d'opérer en plein jour dans un local quelconque, à la seule condition de mettre un tube de rallonge entre le photomètre et son étalon. Un montage analogue peut s'appliquer avec le photomètre Mascart. C'est un sérieux avantage que de pouvoir faire ainsi l'étude de flux lumineux en dehors de toute salle noire photométrique.

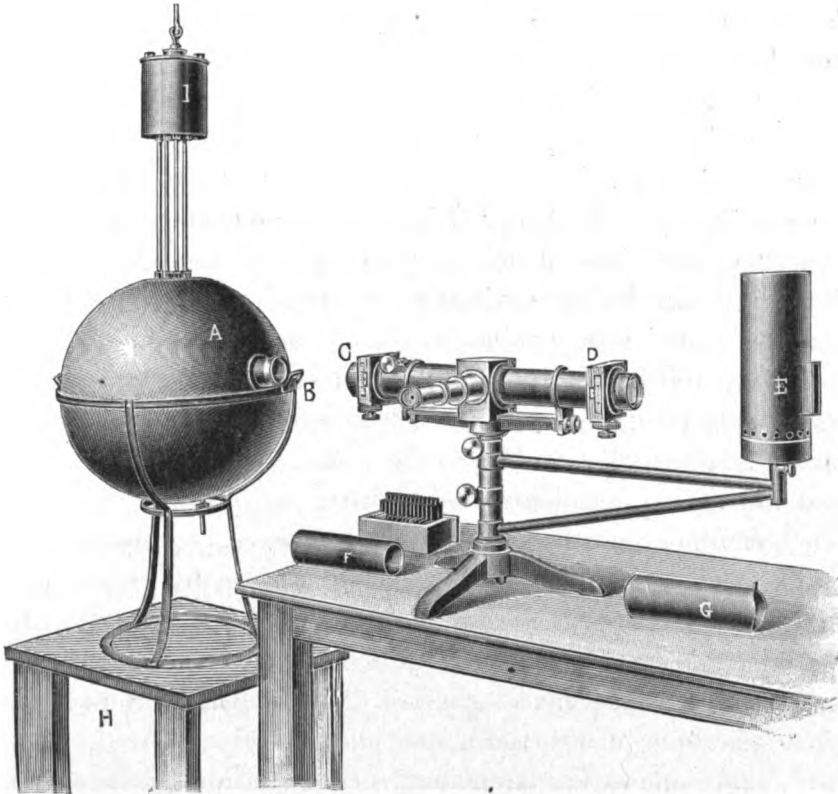
» Un autre avantage du lumenmètre sphérique diffusant, c'est

⁽¹⁾ Cf. *Éclairage électrique*, 1895.

⁽²⁾ Cf. Congrès de l'Association française à Carthage, 1896.

qu'il diminue beaucoup les variations apparentes de lumière au cours des mesures photométriques sur l'arc électrique, car les ro-

Fig. 16.



Montage du lumenmètre sphérique.

tations de l'arc, si gênantes habituellement, ne modifient pas sensiblement le flux lumineux total, ce sont seulement les variations de celui-ci qui se font sentir.

» *Comparaisons de divers appareils au point de vue applications.* — On peut être embarrassé de choisir entre les différents appareils qu'on vient de décrire, et qui semblent tous destinés au même but. En réalité, chacun d'eux présente des avantages et des inconvénients, et il est désirable d'en avoir plusieurs différents à sa disposition suivant les applications.

» Les appareils à miroirs multiples sont ceux qui conviennent

le mieux quand on veut connaître non seulement le flux total, mais sa loi de répartition (sous les réserves faites plus haut); aussi conseillerais-je à tout laboratoire photométrique d'avoir un grand appareil à deux miroirs tournants (Wedding ou Laporte) pour l'étude des arcs, et un appareil à miroirs polygonaux (Blondel, Matthews ou Russell-Léonard) pour l'étude des lampes à incandescence, des arcs à feux nus, des brûleurs à gaz, etc.

» Pour la mesure rapide des flux totaux, le meilleur système est le lumenmètre à sphère diffusante de 0,80 m de diamètre autant que possible, pour les lampes à incandescence et toutes les sources de petites dimensions, de 0,80 m pour les lampes à arc à tiges multiples, et enfin de 3 m environ pour lampes à arc sous globe ou sources de lumière très volumineuse.

» L'appareil à cône diffusant peut être employé également pour ces sources volumineuses, si l'on ne veut consacrer une salle tout entière à la construction d'une sphère de grand diamètre, mais il ne donne qu'une solution moins parfaite.

» L'emploi de ces divers appareils commence à se répandre dans les laboratoires électrotechniques (¹). Le lumenmètre à miroir elliptique, après avoir été en service pendant plusieurs années dans mon laboratoire, est employé, comme je l'ai dit, au Laboratoire Central de Paris concurremment à l'appareil de M. Laporte et à un lumenmètre sphérique qui a été récemment offert au Laboratoire. Le lumenmètre sphérique et le lumenmètre à cône sont employés dans les laboratoires de l'usine municipale des Halles, de l'Institut Montefiore, des Instituts électrotechniques de Grenoble, Nancy, etc.

» Aux États-Unis, les mésophotomètres de Matthews ont trouvé depuis deux ans une grande faveur, particulièrement l'appareil pour lampes à incandescence.

M. le PRÉSIDENT adresse ses remerciements à M. Blondel ainsi qu'à M. Laporte qui a présenté cette Communication en oubliant de mentionner la part qu'il a prise aux travaux dont elle est l'objet.

La séance est levée à 10^h 20^m du soir.

(¹) Le lumenmètre sphérique et le lumenmètre à cône diffusant sont construits industriellement par MM. Dobkévitch et Establie, qui les ont réalisés d'après mes dessins.

REMARQUES SUR LA PHOTOMÉTRIE HÉTÉROCHROME AU MOYEN
DE PHOTOMÈTRES A SCINTILLATION (1).

M. BLONDEL. — « La très intéressante Communication annoncée par M. Lauriol soulève un des problèmes les plus difficiles et des moins avancés de la photométrie, celui de la photométrie hétérochrome. Ainsi que j'ai eu l'occasion de le montrer, il y a quelques années, dans une étude critique de la question (2), aucune des méthodes proposées pour la comparaison de deux lumières de coloration très différente n'est complètement satisfaisante, soit que leur fondement soit inexact ou mal justifié, soit qu'elles négligent le phénomène de Purkinje. Celui-ci exige qu'on n'attribue aux mesures faites, qu'une valeur limitée aux conditions mêmes dans lesquelles elles ont été faites et que, par conséquent, on spécifie avec précision quel est l'éclairement absolu employé et si la comparaison a eu lieu par l'une ou l'autre des deux méthodes classiques, c'est-à-dire par la comparaison des égales clartés ou par la comparaison des égales acuités visuelles, particulièrement bien analysées par MM. Macé de Lépinay et Nicati. Malheureusement, la nouvelle méthode qui vous est soumise échappe à cette classification.

» Bien que cette méthode de la scintillation date déjà d'une dizaine d'années, car elle a été proposée dès 1893 par le professeur O.-N. Rood (3) (et j'ai déjà eu occasion d'appeler l'attention sur son importance pour la photométrie hétérochrome dans le rapport précité), elle a, jusqu'ici, été peu analysée, et l'on ne sait pas avec précision ce qu'elle mesure au point de vue physiologique. Le photomètre de Rood consistait en un prisme de Ritchie à surface blanche dépolie, éclairé sur ses deux faces par les sources à comparer, et regardée par l'observateur à travers un prisme ou une lentille animée

(1) Remarques présentées à la deuxième Section du Conseil de la Société internationale des Électriciens, dans sa réunion du 8 novembre 1904.

(2) *Rapport sur les Unités photométriques*, Congrès des Électriciens, à Genève; 1896

(3) ROOD, *American Journal of Sciences*, t. XLVI, 1893, p. 173.

d'un mouvement de vibration, faisant viser alternativement l'une ou l'autre des faces à des intervalles rapprochés. Il remarqua le premier que la scintillation disparaît à un certain moment, sensiblement lorsque les deux surfaces ont un égal éclat absolu, quelle que soit leur couleur.

» M. F. Whitman donna une forme plus pratique à ce genre de photomètre ⁽¹⁾ en remplaçant le mouvement oscillant par un mouvement de rotation. Ses deux écrans, inclinés à 90 degrés l'un de l'autre et à 45 degrés sur l'axe de visée, sont formés, l'un d'un carton plein, l'autre d'un disque de carton découpé suivant un demi-cercle et tournant autour d'un axe perpendiculaire à sa surface. L'observateur regarde par une lunette à la périphérie du disque tournant et voit ainsi alternativement ce disque et le disque situé par derrière, ce qui permet de comparer les éclairagements produits par les deux sources qui les éclairent respectivement. Ce dernier dispositif a été modifié récemment par le professeur Fleming ⁽²⁾ qui a remplacé le disque par une croix de Malte, réalisant quatre changements par tour au lieu d'un seul, et qui a adopté pour la commande du disque un moteur électrique.

» Le photomètre de Symmance et Abady ne constitue donc pas, à proprement parler, une méthode nouvelle, mais seulement une forme nouvelle d'un appareil connu et qui peut présenter quelques avantages de simplicité. Cependant, le mode de construction de la partie tournante, formée de deux conoïdes raccordés le long d'une arête oblique, bien que très ingénieux, ne me paraît pas constituer la meilleure solution, car elle présente l'inconvénient (qui existait déjà dans le dispositif de Rood) que la substitution d'une surface à l'autre dans le champ de la vision ne s'opère pas instantanément, mais progressivement, pendant une durée égale à celle d'apparition d'une des surfaces; il y a déplacement progressif de la ligne de séparation sur la rétine. Il en résulte que l'excitation nerveuse transmise au cerveau ne se produit pas simultanément pour toute la rétine et, par conséquent, le phénomène de scintillement doit perdre beaucoup en précision et en sensibilité en comparaison du

⁽¹⁾ *Physical Review*, t. III, 1896, p. 241.

⁽²⁾ *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, t. XXXII, 1903, p. 1.

cas où l'action d'une des lumières est remplacée brusquement sur la rétine tout entière par l'action d'une autre. Ce dernier résultat peut être obtenu en remplaçant les deux conoïdes de Symmance et Abady par des portions de surface conique à 45 degrés ayant leur sommet alternativement d'un côté et de l'autre du plan moyen. J'ai réalisé un dispositif de ce genre, dont je ferai connaître les résultats plus tard et qui a l'avantage d'une grande simplicité.

» L'intérêt de cette considération de l'action locale sur la rétine est d'autant plus important, que celle-ci a une composition très variable, dont il est nécessaire de tenir compte dans toute photométrie hétérochrome et, en particulier, dans l'étude du phénomène du photomètre scintillant, si l'on ne veut s'exposer à des erreurs de jugement peut-être considérables.

» La rétine comprend, en effet, deux parties distinctes au point de vue anatomique : la tache jaune de 2 mm environ de diamètre ou *macula lutea* qui sert à la perception nette, surtout en son centre, la *fovea centralis* (diamètre 0,2 mm à 0,4 mm), et qui contient seulement des cônes, sans aucun bâtonnet; et, tout autour d'elle, la rétine périphérique qui contient, avec des cônes en nombre décroissant du centre vers la périphérie, des bâtonnets qui tapissent régulièrement toute la rétine; les cônes de la tache jaune (au nombre d'environ 60 000) possèdent chacun un filet nerveux aboutissant au centre nerveux du cerveau, tandis que les bâtonnets (environ 120 000 000) sont réunis par groupes à un seul filet nerveux; il semble en résulter que les actions des bâtonnets se cumulent et produisent sur les centres nerveux une excitation résultante plus sensible que celle des cônes, ce qui explique que la périphérie de la rétine soit plus sensible à la lumière que la *fovea*, et celle-ci, au contraire, plus sensible pour la perception des détails.

» D'après une récente et séduisante théorie de J. von Kries ⁽¹⁾, le phénomène de la vision s'explique en attribuant aux cônes la faculté de la perception des couleurs, tandis que les bâtonnets, qui sont le siège du *pourpre rétinien*, ne donnent que l'impression de la lumière; au point de vue du sens chromatique, ils sont peu sen-

(1) J. VON KRIES, *Sur la fonction des bâtonnets de la rétine* (Z. f. Psychologie u. Physiologie der Sinnesorgane, t. IX, 1894, p. 181 à 203).

sibles aux couleurs; au point de vue de la sensation lumineuse, ils perçoivent mieux les rayons bleus, et surtout verts, que les rouges. Au contraire, les cônes perçoivent bien toutes les colorations; la sensibilité lumineuse des cônes est plus faible que celle des bâtonnets, et il en résulte que la lumière, très faible d'abord, d'un corps porté progressivement à l'incandescence, perçue d'abord par les bâtonnets, apparaît toujours avec une couleur grise indécise et ne semble colorée que quand l'intensité s'est accrue notablement, ainsi que l'a constaté depuis longtemps Draper. Les animaux de nuit, qui ont un œil beaucoup plus sensible à la lumière que le nôtre, ont généralement la rétine formée exclusivement de bâtonnets.

» On peut faire la photométrie hétérochrome en fermant les paupières assez pour diaphragmer beaucoup la pupille et ainsi réduire l'éclairement apparent des deux plages d'un photomètre jusqu'à ce que la différence des couleurs ne soit plus appréciable, tandis que la différence des intensités lumineuses est encore sensible; mais alors la sensibilité différentielle, c'est-à-dire le degré de précision avec lequel on peut comparer les deux plages, devient très faible, ainsi que l'ont montré plusieurs observateurs, notamment M. le Dr André Broca⁽¹⁾. En outre, la comparaison ne donne pas le même résultat que par la méthode des acuités visuelles.

». Le phénomène bien connu de Purkinje s'explique dans cette théorie par le fait que, au fur et à mesure qu'on abaisse l'intensité lumineuse absolue de deux lumières de coloration différente, la sensibilité des cônes diminuant plus vite que celle des bâtonnets, les couleurs perçues par ceux-ci paraissent devenir plus brillantes relativement aux couleurs perçues seulement par les cônes; le bleu et le vert paraissent donc renforcés par rapport au rouge. Mais, si l'on a soin de limiter le champ de la vision à la seule *macula*, qui ne contient pas de bâtonnets, l'égalité de deux lumières de coloration différente une fois obtenue tend à subsister beaucoup mieux quand on réduit proportionnellement leur intensité; autrement dit, il y a une grande réduction du phénomène de Purkinje. Il convient seulement de noter que, dans la partie centrale (*fovea*) de la tache jaune, la sensibilité des couleurs présente un minimum

(1) A. BROCA, *Thèse de Doctorat en Médecine*.

local ⁽¹⁾, surtout marqué pour le bleu et le violet, analogue au minimum constaté au même point pour la sensibilité lumineuse, et de là peut résulter un effet inverse de celui de Purkinje ⁽²⁾.

» Par ce qui précède, on comprend l'intérêt essentiel qu'il peut y avoir à *préciser les conditions physiologiques* dans lesquelles a lieu la vision dans les photomètres à scintillation; si celle-ci a lieu sur la rétine entière, comme cela était probablement le cas dans les expériences de M. Lauriol, le phénomène de Purkinje se produit avec toute son intensité; en outre, on peut concevoir que, en diminuant assez l'intensité lumineuse absolue de deux sources à comparer, le rôle des cônes devient peut-être négligeable à côté de celui des bâtonnets et qu'on puisse ainsi faire disparaître la différence de sensation des couleurs tout en conservant la différence de sensation lumineuse ⁽³⁾. Si, au contraire, le champ de la vision était limité à la tache jaune, l'effet de Purkinje serait réduit, mais le phénomène de Rood, c'est-à-dire la fusion des sensations colorées, obtenue à une vitesse plus faible que celle nécessaire pour amener la fusion des sensations lumineuses, serait probablement moins facile à réaliser et ne pourrait être interprété qu'en attribuant aux mêmes cônes deux fonctions distinctes, la perception de la lumière et la perception des couleurs, et deux valeurs différentes pour la persistance de chacune de ces impressions; la persistance de l'impression des couleurs serait plus longue que la persistance de l'impression lumineuse. Enfin, si le champ de la vision comprend à la fois la tache jaune et la rétine périphérique, les phénomènes des cônes et des bâtonnets se trouvent plus ou moins mêlés et peuvent être beaucoup plus complexes. Il serait donc préférable, pour préciser le phénomène, d'opérer toujours, soit sur la tache jaune seule, soit, au contraire, sur la rétine périphérique seule.

» De tout cela il résulte que le photomètre à scintillation com-

⁽¹⁾ CHARPENTIER, *La lumière et les couleurs*, p. 191-205.

⁽²⁾ CHARPENTIER, *La lumière et les couleurs*, p. 133-138. — MACÉ DE LÉPINAY et NICATI, *Journal de Physique*, 1883.

⁽³⁾ D'après la théorie de Charpentier, qui n'attribue pas de fonctions différentes aux cônes et aux bâtonnets, la rétine présenterait tout entière la propriété de deux modes de sensibilité, l'un pour l'impression des lumières blanches, l'autre pour l'impression des couleurs; il faudrait, dans cette hypothèse, que la différence des deux temps de perception fût commune aux cônes et aux bâtonnets.

plique la photométrie hétérochrome de nombreuses difficultés physiologiques spéciales, qui peuvent peut-être expliquer les résultats peu encourageants obtenus par M. Lauriol et justifier la continuation de l'étude qu'il a entreprise de cette méthode ; notamment, on peut espérer l'améliorer par l'emploi d'un autre type d'écran tournant et par la limitation du champ de la vision. Peut-être n'arrivera-t-on cependant jamais à en tirer parti, ce qui donnerait tort à Rood et à ses successeurs ; mais la photométrie hétérochrome doit survivre à cet échec si on la dirige rationnellement dans la voie tracée par les travaux des divers savants que j'ai rappelés ci-dessus ; et les conclusions de M. Lauriol, dont le scepticisme est en partie justifié, en ce qui concerne le photomètre Symmance, seraient, je crois, trop pessimistes si on voulait leur attribuer une portée générale. »

A PROPOS DE LA COMMUNICATION DE M. GRASSOT
ET DES APPAREILS FLUXOGRAPHES.

M. A. BLONDEL. — « A propos de la Communication très intéressante de M. Grassot (¹), qui touche à une question que j'ai eu occasion d'étudier moi-même il y a quelques années, je me permets de faire une objection au sujet de l'exactitude du principe de l'appareil, ou tout au moins de ses limites d'emploi (qui n'ont pas été précisées) pour l'inscription des flux périodiquement variables. M. Grassot a ramené l'équation du mouvement à la forme simplifiée

$$\frac{d\alpha}{dt} = RE$$

en négligeant l'inertie du cadre et la self-induction du circuit. Il me semble que l'équation doit être l'équation générale du mouvement des galvanomètres, en supprimant seulement le terme correspondant au couple de torsion, c'est-à-dire

$$K \frac{d^2\alpha}{dt^2} + A \frac{d\alpha}{dt} = Gi$$

avec la relation

$$ri = - \frac{d\Phi}{dt} - L \frac{di}{dt};$$

car, en général, le terme $K \frac{d^2\alpha}{dt^2}$ est du même ordre que celui en $\frac{d\alpha}{dt}$ et la forme de la courbe dépend donc de l'inertie. D'autre part, si $L \frac{di}{dt}$ est petit, comme il convient, par rapport à $\frac{d\Phi}{dt}$ (et seulement dans ce cas) on peut écrire

$$ri = - \frac{d\Phi}{dt} + L \frac{d^2\Phi}{dt^2}$$

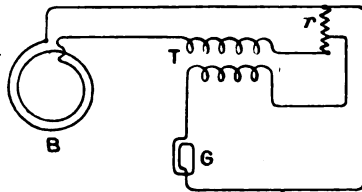
et, par suite, l'équation devient

$$K \frac{d^2\alpha}{dt^2} + A \frac{d\alpha}{dt} = L \frac{d^2\Phi}{dt^2} - \frac{G}{r} \frac{d\Phi}{dt}.$$

(¹) *Société Internationale des Électriciens*, séance de juillet 1904.

» Le second membre est donc de la même forme que le premier, et le terme en $\frac{d^2\Phi}{dt^2}$ pourrait servir à compenser le terme d'inertie si malheureusement le terme $\frac{G}{r} \frac{d\Phi}{dt}$ n'avait le signe —. Étant donné ce signe, l'effet de self-induction ne peut qu'ajouter une nouvelle erreur de même sens que celle due à l'inertie.

» Il n'y a donc qu'un seul moyen d'étudier les flux rapides : c'est de réaliser, par des moyens analogues à ceux imaginés par M. Abraham pour son rhéographe, un galvanomètre dont le courant ait un terme principal proportionnel à $\frac{d^2\Phi}{dt^2}$ et un terme correctif proportionnel à $\frac{d\Phi}{dt}$. On obtient ce résultat, comme l'indique le schéma ci-joint, en transformant le courant induit dans la bobine



d'épreuve B par un transformateur sans fer T, dont le secondaire, qui alimente le galvanomètre G, reçoit une dérivation du courant primaire prise aux bornes d'une résistance réglable r . Dans chacun des deux circuits, la self-induction doit être négligeable devant la résistance, et il est facile de voir que le maximum de sensibilité a lieu quand les quatre self-inductances de la bobine, des deux circuits du transformateur et du galvanomètre sont égales. Pour réaliser cette condition et diminuer les courants mis en jeu dans le primaire, on sera conduit à prendre un cadre mobile très petit, ayant une faible inertie; mais il devient alors plus difficile de lui amener le courant par des fils assez souples pour que le couple de torsion parasite qu'ils introduisent soit négligeable.

» Pour ce motif, quand j'ai étudié le même problème, et construit le premier *fluxographe*, j'ai choisi de préférence le galvanomètre à aimant mobile, dont l'équipage peut être très léger et suspendu entre pointes à une fibre très longue ne donnant pas de torsion sensible. J'avais en même temps simplifié le problème et supprimé

l'amortissement en plaçant l'équipage dans le vide, ce qui élimine le terme en $\frac{d\theta}{dt}$ et, par suite, toute dérivation correctrice du courant, Le couple directeur terrestre était lui-même éliminé par une enveloppe protectrice en fer doux, complètement fermée, entourant le galvanomètre. Mon appareil, qui a échappé sans doute à la connaissance de M. Grassot, a été exposé en 1902 à l'exposition de la Société de Physique, et une courte description en a été publiée dans quelques périodiques, notamment dans *The Electrical World and Engineer* de New York. »

M. GRASSOT. — « Je suis parfaitement d'accord avec M. Blondel et reconnais volontiers que le fluxmètre employé comme fluxographe donnera des courbes déformées. Cette déformation sera d'autant plus grande que les termes en $\frac{d^2\alpha}{dt^2}$ ou en $\frac{d^2\Phi}{dt^2}$ seront eux-mêmes plus grands. M. Blondel a surmonté la difficulté par un dispositif ingénieux; je trouve qu'il est plus commode de rendre ces erreurs négligeables en s'astreignant à n'avoir que des variations lentes de flux. Cette lenteur a, de plus, le grand avantage de permettre de supprimer l'inscription photographique et de la remplacer par un tracé à la main en suivant avec un crayon le point lumineux qui se déplace sur une feuille de papier.

» Dans mes appareils, la déviation du cadre produit une variation de flux sensiblement égale et opposée à celle à mesurer; je vois là une différence essentielle avec ceux de M. Blondel dans lesquels un aimant léger et suspendu ne peut produire que des variations de flux négligeables devant celles à mesurer. »

BIBLIOGRAPHIE.

Électrotechnique appliquée; par A. MAUDUIT.

L'Ouvrage très substantiel de M. Mauduit (plus de 800 pages) reproduit le cours professé par l'Auteur à l'Institut électrotechnique de Nancy.

Supposant déjà à ses élèves ou à ses lecteurs la connaissance de l'Électrotechnique générale, M. Mauduit en envisage les applications, soit à la construction des machines, soit aux exploitations électriques.

La classification très personnelle et originale adoptée par l'Auteur pour les Chapitres successifs indique bien la préoccupation capitale qui l'a guidé; peut-être dirons-nous, comme légère critique, qu'elle ne rend pas les recherches très aisées.

Aussi bien pour le courant alternatif que pour le courant continu, les matières traitées dans l'ordre suivant : essais, calcul, construction, embrassent quatre Chapitres.

Les Chapitres suivants sont consacrés aux applications proprement dites : éclairage et transport d'énergie, traction électrique.

Enfin, un dernier Chapitre renferme les considérations touchant aux sujets les plus actuels : mouvements pendulaires des alternateurs, moteurs alternatifs à collecteurs, compoundage des alternateurs et étude des courants alternatifs non sinusoïdaux.

L'éloge de l'Ouvrage est présenté dans une Préface due à la haute autorité de M. Blondel.

Il nous sera permis d'ajouter que l'Ouvrage de M. Mauduit est, *up to date*, le recueil le plus complet qu'on puisse trouver concernant les principes d'essais et de construction des machines et appareils électriques. A ce titre il se recommande également aux Élèves et aux Ingénieurs.

Les maladies des machines électriques; par Ernst SCHULZ.

Traduit de l'allemand par A. HALPHEN.

Les Ouvrages didactiques relatifs à la construction des machines s'adressant généralement à un public instruit ne comportent pas, en principe, de Chapitre traitant des accidents ou *maladies des machines*. Il suffit à l'Électricien, tant soit peu expérimenté dans la construction et la conduite des machines, d'un peu de réflexion et de l'application des principes généraux pour découvrir, rechercher ou éliminer un défaut quelconque. Aussi n'est-ce pas à l'Ingénieur ou à l'Électricien éduqué que s'adresse le fascicule de M. Ernst Schulz. A côté de cette catégorie savante de lecteurs, il y a la masse des aides, des manœuvres, des collaborateurs modestes qui souvent se trouvent désarmés en présence de défauts ou d'accidents. Indiquer à ces simples soldats de l'industrie électrique un procédé méthodique et simple de localisation des défauts, indépendamment de considérations théoriques encombrantes, tel a été le but poursuivi

par l'Auteur et qu'il a parfaitement atteint. Si, nonobstant la modestie des prétentions de l'Auteur et du Traducteur, nous nous étendons si longuement sur la valeur d'un simple memento, c'est parce que nous sommes persuadés que nombre d'Ingénieurs électriciens seront très heureux de pouvoir recommander au personnel de second plan un Ouvrage aussi instructif et aussi précieux par les services qu'il pourra rendre pour permettre à un conducteur quelconque de machines de procéder à des réparations sommaires sans exiger le concours d'un praticien plus expérimenté.

Traité élémentaire des enroulements des dynamos à courant continu :

par F. LOPPÉ. Paris, Gauthier-Villars, 1904.

Ce petit Ouvrage, rédigé spécialement pour des débutants ayant une instruction technique rudimentaire, a pour but de les familiariser avec les principes de la construction des induits, parfois un peu difficiles à abstraire des Ouvrages spéciaux.

L'Auteur, préparé à cette tâche par l'enseignement qu'il donne à l'École professionnelle Diderot, devait naturellement y réussir.

Il s'est limité aux cas les plus simples et reste ainsi parfaitement accessible à tous ceux qui voudront puiser dans ce petit Volume les notions élémentaires concernant les enroulements des dynamos à courant continu.

Manuel pratique des mesures physico-chimiques, par MM. OSTWALD et R. LUTHER, traduit de l'allemand, par A.-D. JOUVE, Ingénieur. Paris, Ch. Béranger; 1904.

Cet Ouvrage a pour objet d'initier le lecteur aux procédés les plus avantageux à employer pour effectuer les nombreuses mesures qui concernant la physique et la chimie.

C'est un précieux *vade mecum* qui nous met au courant des méthodes suivies à l'Institut physico-chimique de Leipzig et mises peu à peu au point par la persévérance allemande. Le volume comprend vingt et un Chapitres et un Appendice.

Après avoir exposé les méthodes de calcul, discuté les erreurs des mesures et indiqué les moyens de les éliminer ou de les réduire, les auteurs décrivent les appareils et les procédés de mesure de longueur, de comparaison des masses, des températures, sans parler toutefois de la mesure du temps.

Un Chapitre est entièrement consacré au travail du verre. Il fait connaître les tours de main nécessaires pour construire les appareils indispensables dans un laboratoire de mesures.

Dans les Chapitres suivants sont exposées les mesures des pressions, de volume, de densité, de dilatation, les mesures des tensions de vapeur, des points critiques et les déterminations calorimétriques.

Tout ce qui se rattache à l'Optique, Spectrométrie, Photographie, Polarisation et ses applications, fait l'objet du Chapitre XI.

Les Chapitres XII à XIV s'occupent de la détermination du frottement interne, de la tension superficielle, de la diffusion, des solubilités, des poids moléculaires et des points de congélation.

Puis, les auteurs passent en revue les instruments et les méthodes les plus généralement employées pour les mesures électriques.

Après une courte digression sur les procédés de mesure électrique des températures, ils traitent de la dynamique chimique et de la vitesse des réactions chimiques, de l'emploi des méthodes physico-chimiques pour la détermination des constitutions. Ils font enfin connaître, dans un Appendice intéressant, le relevé des exercices pratiques faits à l'Institut physico-chimique de l'Université de Leipzig.

En résumé, c'est œuvre du plus grand intérêt, traduite peut-être d'une façon un peu trop littérale par crainte de modifier le sens du texte.

Les accumulateurs électriques, *Théorie et technique*, par L. JUMAU,
ingénieur électricien. Paris, V^e Ch. Dunod; 1904.

Voici le premier Ouvrage technique réellement important publié en France sur les accumulateurs électriques.

M. Jumaу, très bien placé pour recueillir, vérifier et classer tous les documents épars sur ce sujet, nous fait encore profiter de son expérience et de ses travaux personnels dont beaucoup étaient inédits.

Dans les trois Parties dont il a composé son Volume, il traite respectivement de la théorie et de la technique des accumulateurs, de la description des types industriels et de leurs applications.

Après un Préambule historique, il rappelle les notions générales d'électrolyse, la théorie de la dissociation électrolytique d'Arrhénius, les effets de la pression osmotique, les théories chimiques de l'accumulateur au plomb et son étude thermodynamique. Vient ensuite l'étude expérimentale, avec l'exposé des mesures qu'elle nécessite : l'examen des actions locales et de leurs effets si défavorables. La première Partie se termine par des considérations théoriques et pratiques sur les accumulateurs autres que ceux au plomb.

La seconde Partie est relative à la fabrication des accumulateurs au plomb : l'auteur y décrit les machines et appareils employés pour fabriquer et pour empâter les électrodes, soit par coulée, soit par laminage ou tréfilage.

La monographie des accumulateurs les plus en vogue termine la seconde Partie.

Enfin, la troisième Partie traite des batteries à poste fixe, ou *stationnaires*, des batteries-tampon, des batteries transportables pour traction sur rails, automobiles, bateaux, aérostats, etc. Dans chaque cas, l'étude de la batterie la mieux appropriée au service demandé fait l'objet d'un calcul spécial, de schémas de montage et de l'indication des précautions à prendre pour l'entretien. Toutes questions généralement peu connues.

Cet Ouvrage mérite le meilleur accueil et rendra sûrement les plus grands services à tous ceux qui s'occupent des accumulateurs.

Traité général de l'emploi de l'électricité dans l'industrie minière, par N. LAPOSTOLEST,
ingénieur en chef des services du jour, aux mines de Carmaux. Paris, V^e Ch. Dunod; 1904.

La pénétration des applications de l'électricité dans les mines françaises ne s'est effectuée que peu à peu. Employée surtout pour l'éclairage des chantiers extérieurs, l'électricité n'est entrée qu'il y a peu d'années dans la mine. Elle y règne aujourd'hui en maîtresse et a fini par se substituer progressivement aux anciennes machines actionnant les cages d'extraction, les treuils, les perforatrices, etc.

L'Ouvrage de M. Lapostolest traite de ces questions pour la première fois, en France.

L'auteur développe, dans une Introduction, les divers problèmes à résoudre et expose le rôle que doit jouer l'électricité dans les mines.

Il étudie successivement la production de l'énergie électrique, sa distribution, et l'organisation des divers services.

La distribution de l'électricité est une des questions les plus délicates, étant donnée la configuration constamment variable des fronts de taille.

Les difficultés relatives à l'établissement de canalisations presque toujours provisoires, ont certes dû retarder beaucoup les applications de l'électricité dans les mines; les ingénieurs éprouvaient évidemment une certaine appréhension à les développer.

Elles sont maintenant aussi nombreuses que variées : perforatrices à rotation et à percussion, haveuses qui affouillent le pied des blocs de minerai à abattre, treuils, locomotives traînant les wagonnets dans les galeries, pompes d'épuisement, ventilateurs, etc. sont autant de machines qu'actionne l'électricité.

Cet Ouvrage servira de guide aux chefs d'exploitation de mines qui voudront suivre la voie du progrès et aux constructeurs qui cherchent des débouchés nouveaux pour leurs produits.

Instruction sur le montage des installations électriques jusqu'à 600 volts. 1903-1904.

Ces instructions, rédigées par les Associations françaises de propriétaires d'appareils à vapeur ayant un service électrique, ont également été acceptées par l'Association des industriels du Nord de la France et par l'Association normande pour prévenir les accidents.

En arrêtant les termes des diverses règles énoncées, ces Associations se sont inspirées des circulaires ministérielles en vigueur et ont eu surtout pour but d'uniformiser les prescriptions relatives aux installations électriques à courant alternatif fonctionnant jusqu'à 600 volts.

On trouvera donc, dans ces instructions, tous les renseignements nécessaires pour rendre les installations conformes aux exigences de ces Associations.

Les prescriptions sont relatives aux machines et transformateurs, aux accumulateurs, aux tableaux de distribution, aux lignes, aux divers accessoires d'appareillage et aux récepteurs.

La petite brochure de 38 pages que forme ce Recueil contient enfin des données sur l'isolement que doivent présenter les installations et sur les affiches à apposer en des endroits convenables pour garantir la sécurité du personnel.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

France.

- Accessoires des chaudières*, par GEORGES FRANCHÉ. Paris, Henry Paulin et C^{ie}; 1905; 1 vol. in-8°, broché (avec fig.). (*Don de l'Auteur.*)
- Accumulateurs (Les) électriques. Théorie et technique. Descriptions. Applications*, par L. JUMAU. Paris, V^{ie} Ch. Dunod, 1904; 1 vol. grand in-8°, broché (avec fig.). (*Don de l'Éditeur.*)
- Applications (Les) médicales du radium*, par le Dr FOVEAU DE COURMELLES. Paris, Henri Farjas, 1904; 1 vol. in-18, broché (avec fig.). (*Don de l'Auteur.*)
- Arrivisme (L') industriel (Europe et Amérique)*, par J.-H. WEST. Traduit de l'allemand par ED. GRESSER. Paris, V^{ie} Ch. Dunod, 1904; 1 vol. in-16, broché. (*Don de l'Éditeur.*)
- De la législation française sur les brevets d'invention*, par CH. THIRION et J. BONNET. Paris, Belin et C^{ie}, 1904; 1 vol. grand in-8°, broché. (*Don des Éditeurs.*)
- Détermination de la variation résiduelle du II^e module d'élasticité d'un fil d'invar soumis à des variations de température*, par A. FORNARO et CH.-EUG. GUYE. Genève, Société générale d'Imprimerie, 1904; 1 brochure in-8°. (*Don de M. Guye.*)
- Étude économique sur la transmission électrique de la force dans les usines et ateliers*, par R. SWYNGEDAÛW. Paris, V^{ie} Ch. Dunod, 1904; 1 vol. in-8°, broché (avec fig.). (*Don de l'Éditeur.*)
- Étude théorique des alliages métalliques*, par LÉON GUILLET. Paris, V^{ie} Ch. Dunod, 1904; 1 vol. grand in-8°, broché (avec fig.). (*Don de l'Éditeur.*)
- Instruction sur les paratonnerres adoptée par l'Académie des Sciences.* Instructions ou rapports de 1784, 1823, 1854, 1867 et 1903. Paris, Gauthier-Villars, 1904; 1 vol. in-8°, broché. (Actualités scientifiques.) (*Don de l'Éditeur.*)
- Leçons d'Électricité*, par E. CARVALLO. Paris, Ch. Béranger, 1904; 1 vol. grand in-8°, relié toile (avec fig.). (*Don de l'Éditeur.*)
- Leçons sur les moteurs à gaz et à pétrole*, faites à la Faculté des Sciences de Bordeaux, par L. MARCHIS. Paris, Gauthier-Villars, 1901; 1 vol. in-16, broché (avec fig.). (*Don de l'Éditeur.*)

- Lois fondamentales de l'Électrochimie*, par P.-TH. MULLER. Paris, Gauthier-Villars et Masson, 1904; 1 vol. petit in-8°, broché. (Encyclopédie des aide-mémoire.) (*Don de M. Gauthier-Villars.*)
- Manuel de pratique automobile à l'usage des chauffeurs d'automobiles, mécaniciens et amateurs*, par RENÉ CHAMPLY. Paris, H. Desforges, 1904; 1 vol. in-18, broché (avec fig.). (*Don de l'Éditeur.*)
- Manuel élémentaire pratique de mesures électriques sur les câbles sous-marins*, par H.-K.-C. FISHER et J.-C.-H. DARBY. Traduit de l'anglais sur la 2^e édition par LÉON HUSSON. Paris, Gauthier-Villars, 1903; 1 vol. in-8°, broché (avec fig.). (*Don de l'Éditeur.*)
- Nature intime de l'électricité, du magnétisme et des radiations*, par A. BREYDEL. Bruxelles, imp. F. Vanbuggenhoudt. Ramlot sœurs, V^o Ch. Dunod; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'Auteur.*)
- Notes et formules de l'ingénieur et du constructeur-mécanicien*, par DE LAHARPE. 14^e édition, revue, corrigée et considérablement augmentée. Paris, E. Bernard, 1905; 1 vol. in-18, relié en cuir souple (avec fig.). (*Don de l'Éditeur.*)
- Notices sur l'Électricité*, extraites de l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, par A. CORNU, avec une Préface de M. A. POTIER. Paris, Gauthier-Villars, 1904; 1 vol. in-16, broché (avec fig.). (*Don de l'Éditeur.*)
- Nouvelle méthode électrothermique pour mesurer la puissance des courants de fréquence élevée*, par CH.-EUG. GUYE et ALPH. BERNOUD. Genève, Société générale d'Imprimerie, 1904; 1 brochure in-8°. (*Don de M. Guye.*)
- Ozone (L') et ses applications industrielles*, par H. DE LA COUX. Paris, V^o Ch. Dunod, 1904; 1 vol. in-8°, broché (avec fig.). (*Don de l'Éditeur.*)
- Piles (Les) sèches et leurs applications*, par A. BERTHIER. Paris, H. Desforges, 1905; 1 vol. in-8°, broché (avec fig.). (*Don de l'Éditeur.*)
- Propriétés et essais des matériaux de l'Électrotechnique*, par F. DE PONCHARRA. Paris, Gauthier-Villars et Masson, 1904; 1 vol. in-18, broché (avec fig.). (*Don de M. Gauthier-Villars.*)
- Radium (Le) et la radioactivité. Propriétés générales. Emplois médicaux*, par PAUL BESSON. Avec une Préface du Dr A. d'ARSONVAL. Paris, Gauthier-Villars, 1904; 1 vol. in-16, broché. (Actualités scientifiques.) (*Don de l'Éditeur.*)
- Recherches sur l'arc alternatif de très faible intensité jaillissant entre électrodes métalliques*, par CH.-EUG. GUYE et B. MONASCH. Paris, édité par L'Éclairage électrique, 1904; 1 brochure in-8° (avec fig.). (*Don de M. Guye.*)
- Recueil d'expériences élémentaires de Physique* (seconde Partie : Acoustique, Optique, Électricité et Magnétisme), par HENRI ABRAHAM. Paris, Gauthier-Villars, 1904; 1 vol. in-8°, broché (avec fig.). (*Don de l'Éditeur.*)

Sur la réalisation d'un champ électrostatique tournant de haute tension, par CH.-EUG. GUYE et P. DENSO. Paris, édité par *L'Éclairage électrique*, 1904; 1 brochure in-8°. (*Don de M. Guye.*)

Télégraphie (La) sans fil et les ondes électriques, par J. BOULANGER et G. FERRIÉ. 5^e édition, augmentée et mise à jour. Paris-Nancy, Berger-Levrault et C^{ie}, 1 vol. in-8°, broché (avec fig.). (*Don des Éditeurs.*)

Traité pratique du transport de l'énergie par l'électricité, par LOUIS BELL. Traduit sur la 3^e édition américaine, revue et augmentée, par ARMAND LEHMANN. Paris, V^{te} Ch. Dunod, 1905; 1 vol. in-8°, broché (avec fig.). (*Don de l'Éditeur.*)

Transmission (La) électrique de l'énergie dans les pays industriels de houille noire, par R. SWYNGEDAuw. Paris, V^{te} Ch. Dunod, 1904; 1 vol. in-8°, broché (avec fig.). (*Don de l'Éditeur.*)

Union internationale de tramways et de chemins de fer d'intérêt local. Treizième assemblée générale, Vienne, 1904. Rapport de M. E.-A. ZIFFER. Vienne, 1904; 1 vol. in-folio, broché (avec fig.). (*Don de l'Auteur.*)



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Don, Admission, p. 714. — Recherches effectuées au Laboratoire central d'Électricité sur les phénomènes de viscosité magnétique dans les aciers doux industriels et leur influence sur les méthodes de mesure (M. R. Jouaust), p. 715.

BIBLIOGRAPHIE, p. 737.

OUVRAGES OFFERTS, p. 740.

TABLE DES MATIÈRES DES PÉRIODIQUES ÉTRANGERS, p. 743.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES CONTENUES DANS LE TOME IV (2^e SÉRIE), p. 753.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS CITÉS DANS LE TOME IV (2^e SÉRIE), p. 757.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 7 décembre 1904 (1).

PRÉSIDENCE DE M. BRILLOUIN, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8^h35^m du soir.

Le procès-verbal de la dernière Réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Société,

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

du don d'un appareil pour le Laboratoire et de la demande d'admission suivante :

Vavasseur (Louis-Maximilien), Ingénieur électricien, attaché à la direction technique de la *Maison Paul Dubois*, 164, avenue Parmentier, à Paris. — Présenté par MM. Roussel et Blondeau.

Ce candidat est élu Membre titulaire de la Société internationale des Électriciens.

Des remerciements sont adressés à la *Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines*, pour le don d'un flux-mètre Grassot.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de M. le Dr *W. Gerente*, Membre de la Société, et en exprime ses regrets.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

RECHERCHES EFFECTUÉES AU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ SUR LES PHÉNOMÈNES DE VISCOSITÉ MAGNÉTIQUE DANS LES ACIERS DOUX INDUSTRIELS ET LEUR INFLUENCE SUR LES MÉTHODES DE MESURE.

M. R. JOUAUST. — « Les phénomènes de viscosité ou de trainage magnétique sont depuis longtemps connus des physiciens. Ewing ⁽¹⁾ a signalé le premier que, dans les champs faibles, le fer doux ne prend pas immédiatement l'aimantation correspondant à la force magnétisante à laquelle il est soumis. Klemencic ⁽²⁾ a étudié ce phénomène sur des fils de fer doux et même sur des fils d'acier dans des champs allant jusqu'à 1,6 gauss. Ce physicien opérait par la méthode magnétométrique et notait la déviation de l'appareil 4 secondes et 1 minute après l'établissement du champ.

» Il a constaté que la valeur absolue du phénomène (la différence entre ces deux déviations) croissait avec le champ, mais que sa valeur relative (le quotient de la différence des deux déviations par la déviation au bout d'une minute) décroissait et tendait rapidement vers zéro.

» Le phénomène était moins intense dans les fils fins que dans les gros fils.

» Fromme ⁽³⁾, qui a étudié ce phénomène, également sur des fils et par la méthode magnétométrique, a constaté que si l'on faisait parcourir au fer doux, dans des champs faibles, un cycle d'hystérésis, le phénomène de la viscosité se faisait sentir en tous les points de ce cycle, autrement dit que, pour le fer doux et pour les champs faibles, la variation de l'aimantation correspondant à une variation quelconque du champ magnétisant ne se produit pas instantanément.

» Plus récemment, Wilson ⁽⁴⁾ a eu l'occasion de constater ce phénomène dans des conditions assez semblables à celles où nous

⁽¹⁾ EWING, *Magnetism in Iron*, p. 122.

⁽²⁾ KLEMENCIC, *Wied. Ann.*, t. LXII, p. 68 et t. LXIII, p. 61.

⁽³⁾ FROMME, *Wied. Annalen*, t. LXV, p. 41.

⁽⁴⁾ WILSON, *Electrical Review*, 1898, p. 313.

l'avons nous-même étudié. Wilson, étudiant par la méthode balistique un anneau de fer presque pur, constata que, si l'on faisait passer brusquement le champ d'une valeur extrême à l'autre (de $+9,24$ à $-9,24$ gauss), la variation de l'induction était instantanée, mais que si l'on faisait passer le champ de $+9,24$ à $-1,1$ gauss (valeur de la force coercitive) on obtenait encore des élongations au balistique en ne le mettant en circuit que 10 secondes après la variation du champ.

» Tous ces phénomènes n'ont jusqu'ici été étudiés que pour des champs très faibles et pour des fers très doux.

» L'anneau étudié par Wilson ne contenait que 0,1 pour 100 de manganèse, 0,013 pour 100 de soufre et des traces de carbone et de silicium.

» Le maximum de la perméabilité était de 5480, ce qui donnait une induction de 9100 pour un champ de 1,65 gauss.

» Aussi semble-t-il que, jusqu'ici, on ait considéré ce phénomène comme négligeable dans les aciers doux industriels, dans les conditions où l'on a l'habitude de les étudier.

» Presque toutes les déterminations relatives à la perméabilité et à l'hystérésis de ces aciers se font par la méthode balistique, sur des éprouvettes en général assez massives. A notre connaissance, aucun des expérimentateurs s'occupant de la question ne semble avoir redouté les causes d'erreur qui doivent nécessairement provenir, dans l'emploi de la méthode balistique, du temps nécessaire à la variation de l'aimantation, temps qui pourrait être, dans certains cas, loin d'être négligeable par rapport à la durée de l'oscillation du galvanomètre employé. Or, les recherches entreprises à ce sujet au Laboratoire Central d'Électricité semblent bien montrer que les aciers extra-doux, que les industriels sont arrivés à livrer aujourd'hui aux électriciens, présentent presque tous ce phénomène d'une façon assez intense pour que les recherches faites sur des éprouvettes massives de ces aciers, par la méthode balistique, puissent être entachées de graves erreurs. Aussi croyons-nous qu'il ne sera pas sans intérêt de donner quelques renseignements sur les principaux résultats obtenus dans ces recherches.

» L'étude à laquelle nous nous sommes livrés à ce sujet a porté principalement sur deux anneaux d'acier doux provenant de la

même coulée. L'un, l'anneau A, avait les dimensions suivantes :

Diamètre extérieur.....	147 mm
— intérieur.....	107 —
Hauteur.....	25 —

» L'anneau B avait pour dimensions :

Diamètre extérieur.....	147 mm
— intérieur.....	127 —
Hauteur.....	30 —

» L'acier constituant ces anneaux avait la composition suivante :

Carbone.....	0,13
Silicium.....	0,09
Soufre.....	0,04
Manganèse.....	0,5

» Cet acier avait été recuit à 900° C. (1).

» Le meilleur procédé pour étudier la viscosité magnétique est évidemment la méthode magnétométrique, mais ce procédé n'étant pas applicable pour des éprouvettes de cette forme, nous avons employé le procédé de Wilson qui consiste à opérer comme si on voulait étudier l'anneau par la méthode balistique ordinaire, mais en ne mettant le balistique en circuit qu'un temps déterminé et variable après avoir provoqué la variation du champ magnétisant. Le balistique qui nous a servi dans ces expériences est du type Deprez-d'Arsonval construit par Carpentier. Sa période d'oscillation double est de 8 secondes. L'appareil servant à la mise en circuit du balistique consistait essentiellement en un pendule qui, dans une position déterminée, fermait le circuit d'un relais actionnant un interrupteur placé sur l'enroulement secondaire de l'anneau.

» Comme on le verra par les résultats donnés plus loin, ces procédés semblent bien permettre de se rendre compte de la marche du phénomène dans les différents cas.

» Les anneaux d'acier doux, coulé et recuit, qui ont servi à cette étude, avaient été préparés depuis plus d'un mois lorsqu'elle fut commencée.

(1) La résistivité de cet acier était de 15 microhms-centimètre.

» Au début de ce travail, on fit parcourir à chacun de ces anneaux deux ou trois cycles d'hystérésis en faisant varier le champ magnétisant entre + et — 90 gauss (ce qui correspondait environ à l'induction 17 000).

» On constata alors que, pour les deux anneaux, si l'on faisait brusquement varier le champ magnétisant depuis sa valeur maximum jusqu'à 0, on pouvait mettre le balistique en circuit un temps notable après cette variation et obtenir encore une déviation. Voici les résultats obtenus pour les deux anneaux avec le balistique placé dans les deux cas dans les mêmes conditions d'amortissement (fermé sur une résistance totale de 1000 ohms).

Anneau A.

Temps en secondes.	Déviation en millimètres.
0	250
1	60
2	31
3	16,5
4	9
5	5
6	1,5

Anneau B.

Temps en secondes.	Déviation en millimètres.
0	167
1	57
2	24
3	15
4	6
5	4,5
6	2,7

» Comme on le voit, le phénomène est très intense dans les deux anneaux, il semble même plus intense dans l'anneau mince que dans l'anneau épais.

» Ces phénomènes sont bien dus à la viscosité magnétique et ne

peuvent être attribués à l'action des courants induits. Ceux-ci pourraient bien donner lieu à des résultats analogues, mais la durée de la perturbation observée serait bien moindre. Si l'on se reporte en effet aux résultats numériques obtenus par Hopkinson ⁽¹⁾ dans son étude sur l'action des courants induits, on voit que le retard produit par ces courants serait au maximum de 0,4 seconde pour l'anneau A, alors qu'on constate que cet anneau n'a pas encore pris son aimantation finale au bout de 6 secondes.

» De plus, si, au contraire, on rétablit le champ maximum, on constate que l'aimantation prend immédiatement sa valeur et que, si rapidement qu'on puisse mettre le balistique en circuit après avoir provoqué la variation du champ, on n'observe aucune déviation.

» On se trouvait donc bien là en présence d'un phénomène de viscosité proprement dite.

» Ces expériences furent reprises une huitaine de jours après pendant lesquels, au cours de diverses mesures, les deux anneaux furent soumis à des aimantations répétées. On constata un notable affaiblissement du phénomène.

» Pour l'anneau B, le phénomène était devenu insensible au bout de 2 secondes. Il était resté plus intense dans l'anneau A, mais avec un affaiblissement notable, la déviation au bout de 1 seconde était à peine le dixième de la déviation initiale.

» Ce fait, que le phénomène est plus intense dans l'anneau épais que dans l'anneau mince, concorde parfaitement avec les résultats de Klemencic. Mais il est un fait qui semble en désaccord avec ses expériences. D'après Klemencic et Fromme, les aimantations répétées n'ont aucune influence sur l'intensité des phénomènes de viscosité. Or, si depuis cette deuxième expérience et malgré bien des aimantations répétées, on n'a pu, il est vrai, constater aucun affaiblissement du phénomène, on ne saurait attribuer qu'à ces premières aimantations d'un acier qui n'avait jamais été aimanté, ces atténuations considérables de la viscosité. Il ne saurait être question ici de quelque action identique au vieillissement. On s'expliquerait mal ce phénomène se produisant en moins de huit jours sur un acier

(1) HOPKINSON, *Proc. Royal Soc. London*, t. LVI, p. 108.

recuit depuis plus d'un mois et qui depuis s'est montré si constant ⁽¹⁾.

» L'étude de la viscosité entreprise à la suite de ces deux expériences a porté sur deux points :

» 1^o Étude de la viscosité pour les divers points d'un cycle d'hystérésis dont les valeurs extrêmes correspondent à la saturation ;

» 2^o Étude de la viscosité pour les différents points de la courbe théorique d'aimantation (lieu des sommets de cycles croissants).

I. — ÉTUDE DE LA VISCOSITÉ MAGNÉTIQUE AUX DIVERS POINTS D'UN CYCLE D'HYSTÉRÉSIS.

» Si, pour l'anneau A, on décrit un cycle d'hystérésis entre des valeurs du champ magnétisant respectivement égales à ± 98 gauss (induction $\pm 17\,100$), on constate que les phénomènes de viscosité se manifestent déjà faiblement pour un champ de 3,3 gauss (induction de $+12\,000$), croissent peu à peu, deviennent très intenses au moment où le champ magnétisant est nul, continuent à croître après le renversement du champ, semblent présenter un maximum au voisinage de la force coercitive, et sont devenus presque négligeables pour un champ de $-8,7$ gauss (induction $-11\,800$).

» Les courbes de la figure 1 se rapportent à ce phénomène et ont été obtenues de la façon suivante : on faisait passer brusquement le champ, de sa valeur maxima 98 gauss, à une valeur plus faible positive, nulle ou négative et l'on notait les déviations obtenues au balistique en ne mettant cet appareil en circuit qu'un temps variable après avoir produit la variation du champ. Le balistique était, bien entendu, dans les mêmes conditions d'amortissement dans tous les cas.

» Dans ces courbes, on a porté les temps en abscisses et, en

(1) Cette constance n'est peut-être pas elle-même en contradiction avec le fait signalé par Klemencic que le phénomène de la viscosité est très intense immédiatement après le recuit et décroît ensuite, puisque l'anneau étudié était déjà recuit depuis un certain temps. Signalons toutefois que nous avons constaté le phénomène sur des aciers recuits depuis plusieurs années.

ordonnées, le rapport en pour 100 de l'élongation obtenue à celle

Élongation en pour 100
de l'élongation primitive.

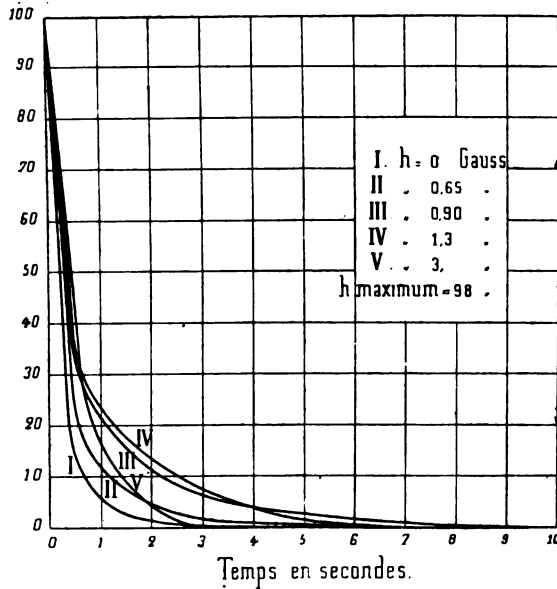


Fig. 1. — Courbes de la viscosité magnétique aux divers points d'un cycle d'hystérésis.

qu'on obtenait en laissant le balistique en circuit au moment où se produisait la variation du champ.

» Le Tableau suivant résume les données relatives aux expériences qui ont servi à construire ces courbes

TABLEAU I.

Élongations en pour 100 de l'élongation primitive.

Temps en secondes...	0.	0,55.	1,65.	2,75.	3,85.	4,95.	6.	7,15.	8,25.	9,35.
Valeurs du champ h en gauss.										
0	100	12,5	2	0,3	0	0	0	0	0	0
—0,65 . . .	100	20	6	2	0,8	0,4	0,2	0	0	0
—0,9	100	30	14	7	4	2,6	1,6	0,8	0,4	0,15
—1,3	100	35	16	8,5	3,9	1,2	0,3	0,07	0	0
—2,03 . . .	100	34	13	3,2	0,5	0	0	0	0	0
—3	100	32	7	0,2	0	0	0	0	0	0

» Ces résultats sont parfaitement définis.

» Les expériences ont été recommencées plusieurs fois, et les courbes obtenues se superposaient parfaitement.

» Comme on le voit par l'examen du Tableau précédent, la durée du phénomène croît depuis le moment du renversement du champ magnétisant jusqu'à une valeur voisine de -1 gauss, ce qui est précisément la valeur de la force coercitive.

» Ce résultat peut facilement s'expliquer si l'on admet avec M. Maurain ⁽¹⁾ que la viscosité est due au mouvement, de proche en proche, des aimants particuliers à un moment où leur position d'ensemble est peu stable, condition qui est évidemment remplie au moment où le renversement de l'aimantation va avoir lieu.

» Aussi est-il tout naturel de voir diminuer très rapidement la durée du trainage lorsque ce renversement a eu lieu.

» Mais on remarquera que, si la durée des phénomènes de viscosité diminue rapidement lorsque le champ h est devenu supérieur à la force coercitive, leur importance dans les premiers instants qui suivent la variation du champ continue à croître jusqu'à une valeur de h comprise entre $-1,3$ et -2 , de telle sorte que, quoique, par exemple, pour $h = -0,65$, la durée du phénomène soit d'environ 7 secondes, l'élongation au bout d'une demi-seconde n'est que les 2 dixièmes de l'élongation primitive, elle en est environ les 3 dixièmes et demi pour $h = -2,03$, alors que, dans ce cas, le phénomène a complètement cessé au bout de 5 secondes.

» Ce fait, croyons-nous, doit être attribué à l'action des courants induits.

» Nous avons vu, précédemment, que ces courants peuvent avoir une action analogue à celle de la viscosité, mais plus courte.

» Nous savons, d'ailleurs, d'après les travaux d'Hopkinson, que l'action de ces courants est maximum au moment où l'aimantation qui tend à se développer dans le fer correspond au maximum de perméabilité.

» Or, on voit, par l'examen du cycle d'hystérésis, que précisément pour des valeurs du champ comprises entre $-1,3$ et -2 gauss, l'acier doit se trouver dans un état analogue à celui du maximum de perméabilité.

(1) MAURAIN, *Éclairage électrique*, t. XXXVII, p. 42.

» L'augmentation du phénomène pour cette région dans les premiers instants qui suivent la variation du champ semble donc bien pouvoir être attribuée aux courants induits qui superposent leur action à celle de la viscosité ou, *plus probablement, à une réaction de l'action de ces courants sur le phénomène de viscosité.*

» Le phénomène de la viscosité se constate aussi, comme nous l'avons dit plus haut, même pour des valeurs de h positives. Il est alors très faible : pour $h = + 0,9$, il a complètement cessé au bout de 2,75 secondes ; au bout de ce temps, pour $h = + 0,64$, la déviation n'est plus que 0,15 pour 100 de l'élongation primitive.

» Il existe un autre moyen de mettre la viscosité en évidence en un point d'un cycle d'hystérésis. Si l'on fait brusquement passer le champ magnétisant de sa valeur maximum $+ H$ à une valeur h , en général, par suite de la viscosité, l'élongation δ lue au balistique est plus faible que celle qui aurait dû correspondre à la variation de flux qui s'est produite.

» En effet, si, après avoir attendu quelques instants, on fait varier le champ de h à $- H$, on observe une déviation δ_2 telle que $\delta + \delta_2$ est plus petit que la déviation Δ observée quand on passe de $+ H$ à $- H$.

» Mais, si l'on ramène le champ magnétisant de h à $+ H$, (H correspondant à une région de saturation), comme le phénomène du trainage ne se produit pas, la déviation δ_1 lue au balistique mesure bien la variation de flux qui s'est produite et qui est la même que celle qu'aurait dû mesurer δ ; et dans ce cas, en effet, on a bien $\delta_1 + \delta_2 = \Delta$. Nous reviendrons sur ce procédé au sujet des méthodes de mesure, mais on voit immédiatement que le rapport

$$\lambda = \frac{\delta - \delta_2}{\delta}$$

peut servir, pour une étude faite avec un balistique donné, dans des conditions d'amortissement données, à caractériser la viscosité en un point.

» Jusqu'ici, nous n'avons envisagé que le cas où l'on fait varier brusquement le champ magnétisant de sa valeur maximum H à une autre valeur h . Il est intéressant, pour se rendre compte de la valeur de certains procédés de mesure, de voir ce qui se passe si,

au lieu de faire cette variation d'un seul bond, on opère par plusieurs bonds successifs. Dans le Tableau suivant, nous donnons, colonne I, les véritables variations de flux produites; colonne II, les variations évaluées par le balistique en produisant la variation d'un seul bond; colonne III, en opérant par une quinzaine de bonds successifs, la valeur maximum du champ étant, dans les deux cas, de 98 gauss.

TABLEAU II.

Valeurs du champ h en gauss.	Variations du flux.		
	I.	II.	III.
	Véritables.	Évaluées en un seul bond.	Évaluées par bonds successifs.
+ 1,1	8 000	7 700	7 650
+ 0,7	8 720	8 200	8 300
0	10 500	9 600	9 850
— 0,7	13 700	11 700	12 200
— 1,1	17 850	13 650	14 750

» Comme on le voit par l'examen des nombres des deux dernières colonnes, les différences obtenues dans les deux cas peuvent être mises sur le compte des erreurs d'expérience et ne présentent pas de différences nettement systématiques.

» Il semble donc bien que, pour tous les points pour lesquels se manifeste le phénomène de la viscosité, l'effet total qu'on observe lors d'une variation brusque du champ magnétisant peut être considéré comme étant sensiblement la somme des effets obtenus pour chacun des points intermédiaires, lorsque la variation est produite par degrés successifs.

» Une remarque s'impose à ce sujet. Dans la colonne I nous avons porté la véritable variation de flux produite. Or, c'est un fait bien connu que, en général, cette variation de flux n'est pas la même dans les deux cas, lorsque la variation de champ magnétisant a été produite d'un seul bond ou par plusieurs bonds successifs (1).

(1) WARBURG, *De l'hystérésis*, Congrès de Physique, 1900. — GUMBLICK et SCHMIDT, *Electrotechnische Zeitschrift*, 1900, p. 233.

» Nous pouvons donner un exemple de ces variations. Pour un anneau de tôles pour lesquelles les phénomènes de viscosité sont peu sensibles, on obtient au balistique, en faisant varier le champ magnétisant de sa valeur maxima 70 gauss à la valeur 0, les déviations suivantes :

En un seul bond	205
En trois bonds	202
En huit bonds	199

» Nous avons vérifié qu'au contraire, dans les anneaux d'acier doux présentant le phénomène de la viscosité, la variation de flux est la même, quelle que soit la manière dont a été produite la variation du champ magnétisant.

» Ceci n'a rien d'étonnant. Les variations signalées plus haut dans la valeur de l'aimantation rémanente suivant la manière dont on a fait varier le champ magnétisant, rentrent dans le cas général des phénomènes d'aimantation anormale. Dans le cas des tôles, on peut se rendre compte que, par suite de l'impulsion reçue lors de la brusque variation du champ magnétisant, les aimants particuliers, dont le mouvement n'est pas amorti, dépassent leur position d'équilibre et, comme celle-ci ne correspond pas à un régime d'équilibre stable, ils n'y reviennent pas exactement. Dans le cas des aciers qui nous occupent, le mouvement pris par l'ensemble des aimants particuliers est au contraire un mouvement amorti et de toute façon cet ensemble arrive à la même position d'équilibre.

Influence de l'épaisseur de l'anneau.

» Comme nous l'avons dit plus haut, sauf pour les premières expériences, le phénomène de la viscosité est moins intense dans l'anneau B qui n'a que 1 cm d'épaisseur que dans l'anneau A qui en a deux.

» Le Tableau III résume les résultats obtenus sur cet anneau.

TABLEAU III.

H maximum = 100 gauss.

Élongation en pour 100 de l'élongation primitive.

Temps en secondes.....	0.	0,55.	1,65.	2,75.	3,85.	4,95.	6.
Valeurs du champ h en Gauss.							
0	100	2,7	0	0	0	0	0
—0,8	100	6	0,9	0,15	0	0	0
—1,2	100	18	4	0,7	0,25	ε	0
—1,7	100	20	1,2	0	0	0	0
—2,4	100	13	0	0	0	0	0
—3,6	100	6	0	0	0	0	0

» Il peut être intéressant de comparer également pour les deux anneaux A et B les valeurs du rapport désigné plus haut par λ .

» On obtient alors les résultats suivants :

Valeurs du champ h en gauss.	Valeurs de λ .	
	Anneau A.	Anneau B.
0.....	0,055	0,03
—0,7.....	0,13	0,06
—0,98.....	0,23	0,11
—1,3.....	0,23	0,07
—2,2.....	0,17	0,03

» On remarquera que, dans la région comprise entre $h = 0$ et $h = -1$, c'est-à-dire tant que h est plus petit que la valeur du champ coercitif, la valeur de λ pour l'anneau A est approximativement le double de sa valeur pour l'anneau B, les valeurs de λ seraient donc approximativement dans le rapport des épaisseurs des anneaux. Il n'y a peut-être là qu'une simple coïncidence qu'il est bon de signaler mais à laquelle il ne faut pas attacher trop d'importance, le moyen que nous avons employé pour décélérer le phénomène ne se prêtant guère à la recherche de résultats quantitatifs (¹).

(¹) Signalons aussi dans le même ordre d'idées que si l'on mesure pour une courbe analogue à celles de la figure 1 l'aire comprise entre la courbe et les axes de coordonnées, pour la même valeur de h , cette aire est environ deux fois plus grande pour l'anneau A que pour l'anneau B.

» En tous cas, dès que h a dépassé la valeur correspondant au champ coercitif, le rapport $\frac{\lambda_A}{\lambda_B}$ semble aller en croissant; cela n'a rien d'étrange, car nous avons vu que dans cette région les courants induits semblent jouer un rôle et, de plus, la durée du phénomène devient rapidement négligeable dans l'anneau mincé par rapport à la période du balistique et notre mode opératoire se trouve en défaut.

II. — ÉTUDE DE LA VISCOSITÉ EN UN POINT DE LA COURBE THÉORIQUE D'AIMANTATION.

» Si l'on cherche à tracer la courbe théorique d'aimantation, lieu des sommets de cycles croissants pour un acier préalablement ramené à l'état neutre, on constate, lorsqu'on passe brusquement d'un maximum à l'autre du champ magnétisant, l'aimantation met un certain temps à prendre sa nouvelle valeur. La manière d'observer le phénomène a été la même que pour la première partie de cette étude et a consisté à observer les déviations obtenues au balistique en ne mettant cet appareil en circuit qu'un certain temps après le renversement du champ. Pour faire cette étude, on ramène l'anneau d'acier à l'état neutre en lui faisant parcourir des cycles d'hystérésis d'amplitude décroissante. Cette partie de l'opération doit être faite avec le plus grand soin, car, si l'on n'a pas parfaitement ramené l'acier à l'état neutre, on serait amené dans la suite à décrire, non pas de véritables cycles d'hystérésis symétriques par rapport au point représentatif de l'état neutre, mais des boucles quelconques, et les phénomènes de viscosité n'auraient pas la même intensité suivant qu'on les observerait pour un sommet ou pour l'autre de cette boucle. On est averti que l'anneau a été mal désaimanté, par ce fait que la déviation obtenue au balistique par renversement du courant n'est pas la même dans les deux cas, ce qui est dû précisément à l'inégalité de l'intensité du phénomène de viscosité.

» La figure 2 et le Tableau IV donnent les résultats obtenus dans l'étude de l'anneau A.

TABLEAU IV.

Élongation en pour 100 de l'élongation primitive.

Temps en secondes....	0.	0,55.	1,65.	2,75.	3,85.	4,95.	6.	7,15.
Valeurs du champ h en gauss.	Valeurs de l'induction B .							
0,5....	1250	100	20	1,8	0,35	0	0	0
0,75....	2500	100	30	5,5	1	0,35	0	0
1,4....	4000	100	46	15	4	0,75	0,2	0,1
2,7....	7000	100	38	7,7	0,6	0	0	0
4,3....	9000	100	30	1,5	0	0	0	0

» Comme on le voit, la durée du phénomène de viscosité diminue

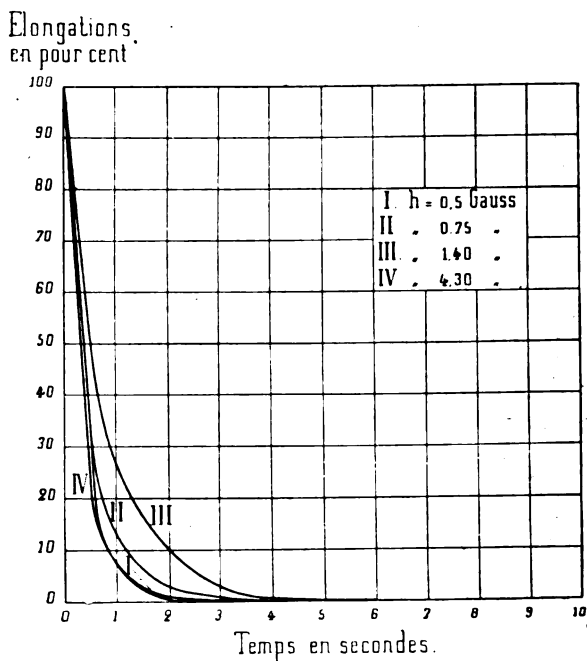


Fig. 2. — Courbes de la viscosité magnétique aux divers points de la courbe théorique d'aimantation.

rapidement lorsque le champ magnétisant croît à partir d'une certaine valeur. Quant à son importance relative, elle semble présenter un maximum pour des valeurs du champ voisines de 1,4 gauss.

» Il y a encore là, sans aucun doute, une action des courants

induits, car précisément cette valeur de 1,4 gauss du champ magnétisant correspond au maximum de la perméabilité, maximum égal à 2850.

» Tels sont les principaux résultats observés dans cette étude de la viscosité magnétique faite sur deux anneaux provenant du même acier doux.

» Comme nous l'avons dit plus haut, presque tous les aciers doux industriels présentent à l'heure actuelle ce phénomène d'une façon assez intense, surtout lorsqu'on étudie des éprouvettes ayant une épaisseur assez considérable.

» Pour des tôles, au contraire, le phénomène est peu intense et ne peut être décelé avec les moyens que nous avons employés que pour quelques points du cycle d'hystérésis et en se plaçant dans des conditions de sensibilité particulières. Ce phénomène semble d'ailleurs se produire, dans tous les corps ferromagnétiques, d'une façon plus ou moins intense. En particulier, nous avons pu le déceler dans la fonte. Sur un anneau de fonte de 2 cm d'épaisseur, si l'on passe brusquement d'un champ de 90 gauss à une valeur du champ voisine de la valeur de la force coercitive, on peut, en mettant le balistique en circuit 0,2 seconde après avoir produit la variation du champ, obtenir une déviation égale environ au centième de la déviation initiale. Il s'agit bien d'un phénomène dû à la viscosité et non à l'action des courants induits, car, dès qu'on a dépassé la valeur de la force coercitive, le phénomène cesse complètement.

» En tout cas, s'il était intéressant de signaler que, aussi bien pour des tôles que pour des anneaux de fonte un peu épais, on pouvait mettre le phénomène en évidence, il est important surtout de constater que, sur des éprouvettes de ce genre, le phénomène de la viscosité ne peut avoir aucune influence sur l'exactitude des mesures.

» Signalons aussi une expérience dans laquelle nous avons cherché l'action d'un champ alternatif sur la viscosité.

» On sait que Marconi avait tout d'abord attribué le fonctionnement de son détecteur d'ondes à une action des courants alternatifs sur la viscosité. Depuis, les expériences de Maurain ont montré qu'il s'agissait surtout d'une réduction de l'hystérésis ordinaire.

Pour voir s'il n'y avait pas, en outre, une action sur la viscosité, nous avons superposé à l'enroulement magnétisant de l'anneau A, un enroulement parcouru par un courant alternatif à la fréquence 42. L'expérience ainsi réalisée était évidemment une expérience grossière, l'action du courant alternatif étant, par suite des dimensions de l'anneau, presque purement superficielle, mais nous avons néanmoins obtenu une assez notable réduction de l'hystérésis.

» C'est ainsi que l'action du courant alternatif augmentait de 5 pour 100 la déviation observée au balistique en passant du champ maximum $+H$ à la valeur intermédiaire h , mais la différence observée entre cette déviation et celle lue au balistique, en revenant de h à $+H$, est restée la même dans les deux cas. Il semble donc que l'action du courant alternatif n'ait pas d'action sur la viscosité, résultat bien d'accord d'ailleurs avec les idées que l'on se fait de l'action d'un courant alternatif sur l'aimantation. Néanmoins l'expérience, pour les raisons énoncées plus haut, n'est peut-être pas bien concluante.

Influence des phénomènes de viscosité sur les méthodes de mesure.

» Nous arrivons maintenant au point le plus important de cette étude, l'influence que peuvent avoir les phénomènes étudiés plus haut sur les méthodes de mesure.

» Les méthodes balistiques pour la détermination du cycle d'hystérésis se divisent en deux principales.

» La plus ancienne est la méthode connue sous le nom de *méthode de Rowland*.

» Les variations du champ sont produites, en partant du maximum, par bonds successifs, et l'on évalue au balistique les variations de flux correspondant à chacun de ces bonds. La somme de ces variations permet de connaître la variation totale du flux quand le champ magnétisant passe d'un maximum à l'autre.

» L'autre méthode, créée par Ewing et miss Elena Claassen pour leurs recherches sur la loi de Steinmetz, consiste à ramener, après chaque mesure, le champ magnétisant à sa valeur maximum et à évaluer la variation de flux produite en faisant passer le champ de cette valeur maximum à une autre valeur plus faible en valeur

absolue et qui peut être positive, nulle ou négative. C'est le mode opératoire que nous avons employé dans toutes ces recherches. La figure 3 représente le schéma du montage que nous avons réalisé.

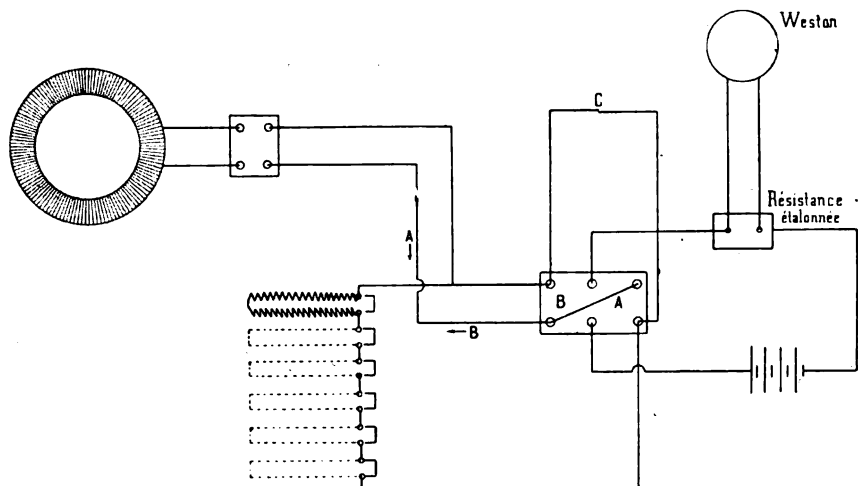


Fig. 3. — Schéma du montage pour l'étude de l'influence de la viscosité sur les méthodes de mesure.

» Souvent, au lieu de tracer un cycle d'hystérésis, on trace la courbe théorique d'aimantation dont nous avons déjà parlé et qu'on obtient en faisant décrire à l'éprouvette des cycles d'hystérésis d'amplitude croissante et en notant pour chacun de ces cycles la variation de flux obtenue en faisant passer brusquement le champ magnétisant d'un maximum à l'autre.

» On a souvent reproché à la méthode de Rowland de se prêter à une accumulation d'erreurs ; aussi beaucoup d'opérateurs lui préfèrent-ils la méthode d'Ewing dans laquelle cet inconvénient n'est pas à craindre.

» En réalité, nous pensons que, pour l'étude des éprouvettes dans lesquelles les phénomènes de viscosité ne sont pas à redouter, les deux méthodes se valent, car on arrive facilement à faire les lectures sur l'échelle divisée du balistique avec une très grande précision.

» Il est bien certain que tout expérimentateur, si exercé qu'il soit, est toujours exposé à de grossières erreurs de lecture et, s'il se contentait d'une seule mesure, la première méthode lui donne-

rait dans ce cas des résultats complètement faux, tandis que, dans la seconde, l'erreur ne porterait que sur un point du cycle.

» Mais un expérimentateur sérieux ne saurait se contenter d'une seule mesure; aussi une grossière erreur ne saurait lui échapper.

» De très nombreuses expériences personnelles, nous pouvons conclure que la méthode de Rowland donne, pour des expériences répétées plusieurs fois avec la même éprouvette, des résultats très concordants.

» La méthode d'Ewing a l'inconvénient d'exiger un montage assez compliqué et de nécessiter au cours des expériences un changement de la sensibilité du balistique. Le courant nécessaire à la production du champ maximum circulant beaucoup plus longtemps dans le circuit magnétisant, il finit par en résulter un échauffement et par suite une variation de résistance des différentes parties de ce circuit. Le courant varie et il est parfois très difficile de corriger exactement cette variation.

» Mais, si, au point de vue des éprouvettes dans lesquelles les phénomènes de viscosité sont faibles, les deux méthodes se valent, ayant chacune ses avantages et ses inconvénients, il n'en est plus de même dans les cas où les phénomènes de viscosité deviennent assez intenses. Aucune des méthodes dans ce cas n'est rigoureusement exacte.

» Comme on l'a vu plus haut, si l'on emploie la méthode de Rowland, un grand nombre des lectures faites au balistique seront trop faibles par suite du temps nécessaire à l'aimantation pour s'établir; la demi-somme de ces lectures, d'où l'on déduit la valeur de l'induction correspondant au champ maximum, sera aussi trop faible, et l'on ne pourra obtenir que des résultats complètement faux.

» Il en sera de même, comme le montre le Tableau IV, si l'on applique la méthode d'Ewing à des cycles correspondant à de faibles inductions. Mais, si l'on applique la méthode à des cycles décrits entre des valeurs du champ correspondant à la saturation, les résultats deviennent plus exacts.

» Les résultats correspondant aux régions du cycle voisines de la saturation ne sont plus entachées d'erreur, on a en particulier très exactement les valeurs de l'induction correspondant au champ

maximum et seuls sont inexacts les points du cycle situés dans des régions où les variations de l'induction sont rapides.

» Pour ce qui est du tracé de la courbe théorique d'induction, on voit également que la méthode balistique peut donner des résultats trop faibles pour des valeurs de l'induction inférieures à 10000 gauss. Les résultats deviennent ensuite exacts. La figure 4 représente des

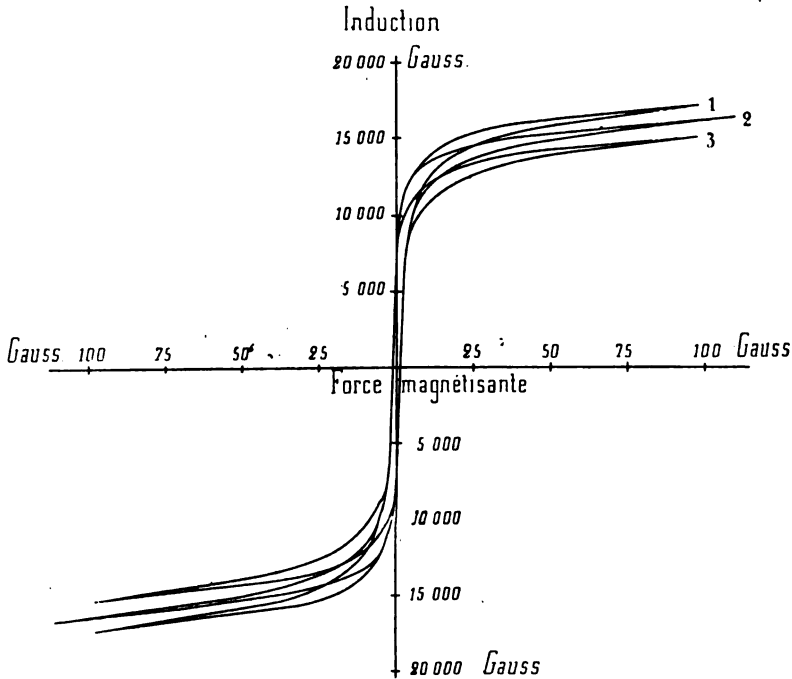


Fig. 4. — Tracés des cycles d'hystérésis obtenus par diverses méthodes.

tracés de cycles d'hystérésis obtenus par ces différentes méthodes; la courbe 3 se rapporte à l'anneau A et à la méthode de Rowland, la courbe 2 à la même méthode et à l'anneau B, la courbe 1 à l'anneau A et à la méthode d'Ewing modifiée comme nous allons l'indiquer plus bas.

» On voit que, par cette méthode, on trouve pour l'acier étudié une induction de 17100 pour une force magnétisante de 98 gauss, tandis que la méthode de Rowland appliquée au même anneau conduit à admettre, pour le même champ, une induction de 14900, soit une erreur de 15 pour 100. L'anneau B, dans lequel les phénomènes sont moins intenses par suite de sa moindre épaisseur, donne,

lorsqu'on l'étudie par la méthode de Rowland, une erreur moindre. On trouve, pour un champ magnétisant de 100 gauss, une induction de 16000. L'erreur n'est plus que de 6 pour 100.

» Il semble donc que, pour éviter des déboires expérimentaux dans l'étude des aciers coulés, il convienne d'appliquer la méthode d'Ewing sur des anneaux minces.

» Mais il existe un autre moyen de construire exactement le cycle d'hystérésis correspondant à une région saturée, et cela aussi bien avec un anneau épais qu'avec un anneau étroit.

» Nous avons vu, en effet, plus haut que, dans le cas d'un cycle saturé, si la déviation lue au balistique lorsqu'on fait varier le champ magnétisant de $+H$ à h ne représente pas exactement, par suite de la viscosité, la variation de flux produite, cette variation est, au contraire, exactement représentée par la déviation observée, lorsqu'on passe de h à $+H$. Il suffit donc d'apporter à la méthode d'Ewing la légère modification qui consiste à faire les lectures en revenant au maximum de la force magnétisante pour avoir des résultats corrects dans tous les cas.

» Nous donnons ci-dessous les résultats obtenus sur l'anneau A par les deux méthodes, résultats qui permettront de se rendre compte de l'ordre des erreurs auxquelles on est exposé en employant la méthode d'Ewing telle qu'on l'emploie ordinairement.

TABLEAU V.

Valeurs du champ magnétisant en gauss.	Induction en gauss.	
	Méthode d'Ewing ordinaire.	Méthode d'Ewing modifiée.
98.....	17 100	17 100
22.....	15 145	15 145
3,35.....	11 950	11 900
1,12.....	9 400	9 050
0,72.....	8 900	8 400
0.....	7 500	6 500
— 0,72.....	5 350	3 400
— 1,12.....	3 450	— 750
— 2,27.....	— 1 800	— 5 800
— 3,35.....	— 4 900	— 7 700
— 8,7.....	— 11 200	— 11 800
— 22.....	— 14 500	— 14 500
— 35.....	— 15 300	— 15 300
— 98.....	— 17 100	— 17 100

» Cette modification de la méthode d'Ewing peut, croyons-nous, rendre de grands services dans l'étude des aciers coulés. Remarquons que, pour ce genre d'acier, il est plus facile aux constructeurs de fournir comme éprouvettes des anneaux épais que des anneaux minces, dans la coulée desquels il est difficile d'éviter les soufflures. Remarquons aussi que le tracé d'un cycle saturé suffit bien pour se rendre compte des propriétés de ces aciers.

» La courbe théorique d'aimantation, courbe plus rapprochée de la branche montante que de la branche descendante du cycle, donne bien la valeur de la perméabilité qu'il faut introduire dans les calculs de machines pour des tôles destinées à être employées dans des alternofluxeurs, mais pour des aciers coulés destinés à être utilisés comme inducteurs et à être toujours aimantés dans le même sens, la valeur de la perméabilité à introduire dans le calcul est moins bien définie, et il vaut certainement mieux considérer comme courbe d'aimantation une courbe moyenne comprise entre la branche ascendante et la branche descendante du cycle de la courbe théorique définie plus haut.

» De plus, pour ces aciers coulés, il est bon d'avoir, non seulement des renseignements sur la perméabilité du métal, mais aussi sur sa force coercitive (une dynamo dont les inducteurs seraient construits avec un métal de force coercitive trop faible risquant de se désamorcer facilement).

» Le tracé du cycle d'hystérésis à saturation semble donc bien fournir au constructeur toutes les données nécessaires à la prédétermination de ces machines, et c'est pour cela que nous avons cru devoir insister aussi longtemps sur le procédé permettant de le tracer correctement dans tous les cas. » (*Applaudissements.*)

M. le PRÉSIDENT. — « Nous ne pouvons que nous associer aux remerciements que manifestent vos applaudissements. »

M. Ch. DAVID communique les résultats d'essais oscillographiques qu'il a obtenus sur le réseau à haute tension de la Compagnie d'Énergie électrique du littoral méditerranéen (Étude de la quatrième Section).

M. le PRÉSIDENT remercie M. Ch. David et remet à une séance ulté-

rière la discussion qu'appelle sa Communication : celle-ci ne devant être insérée que dans le *Bulletin* de janvier prochain et constituant un appoint aux travaux de la quatrième Section d'études qui l'a provoquée, la discussion n'en saurait être utilement établie qu'après sa publication.

La séance est levée à 10^h35^m du soir.

BIBLIOGRAPHIE.

Électricité expérimentale et pratique; Cours professé à l'École des officiers torpilleurs, par H. LEBLOND; troisième édition, Tome IV. Paris, Berger-Levrault et C^{ie}.

Cet Ouvrage, dont le succès s'affirme par le nombre des éditions, a été couronné par l'Académie des Sciences.

Plus spécialement destiné aux applications de l'électricité à la Marine, il traite très en détail de tout ce qui concerne l'emploi de l'électricité dans les navires de guerre et dans les arsenaux.

Le Tome IV de l'édition en cours étudie les conducteurs, les procédés de distribution de l'énergie électrique, les transformateurs, l'éclairage par arc et par incandescence, etc.

L'étude des projecteurs, vu son importance, fait l'objet d'un Chapitre spécial et nouveau dans lequel sont décrits les principaux types de réflecteurs, paraboliques et sphériques, avec comparaison des puissances optiques des divers modèles employés (projecteurs de hune, de sabord, projecteurs commandés à distance). Bien qu'un Tome spécial doive être consacré à l'étude des moteurs électriques, M. Leblond ne peut éviter d'en faire connaître ici les propriétés générales; il n'envisage d'ailleurs que la question des moteurs à courant continu, les seuls dont on fasse usage à bord.

Le Chapitre relatif à la téléphonie s'est enrichi de documents complémentaires sur les appareils dits *hauts parleurs*, sur l'arc chantant de Duddel et sur la téléphonie à grande distance.

Il faut encore citer le Chapitre nouveau relatif à la télégraphie sans fil et le Chapitre où l'auteur étudie les divers systèmes de distribution employés actuellement à bord des navires de guerre.

Le couplage en quantité de dynamos réparties dans les divers compartiments étanches, présente des particularités intéressantes, principalement au sujet de l'appareillage spécial des tableaux dont les barres se couplent en quantité au moyen de disjoncteurs automatiques différentiels.

En résumé, ce Volume continue avantageusement l'œuvre si appréciée de M. Leblond.

L'arrivisme industriel (*Europe et Amérique*), par J.-H. WEST. Traduit de l'allemand par Ed. GRÆSSER, ancien inspecteur principal des Postes et Télégraphes. Paris, V^e Ch. Dunod; 1904.

Dans cette étude, M. West compare la situation industrielle et ouvrière en Europe et aux États-Unis. Deux voyages d'études, effectués à six ans d'intervalle, lui ont permis de se documenter sur cette question économique si grave,

Le sol américain, d'une fertilité exceptionnnelle, permet à l'ouvrier des champs d'y gagner facilement sa vie.

Celui-ci ne consent donc à venir à l'usine que moyennant un salaire élevé.

De là, pour économiser une main-d'œuvre coûteuse, le développement à outrance des machines-outils.

Pour en tirer le rendement maximum, les Américains n'hésitent pas à créer des types spéciaux aussi nombreux que variés.

La machine la plus perfectionnée est immédiatement abandonnée si une autre surgit, capable de produire le même travail dans des conditions plus économiques.

Le succès de ce système exige une production considérable.

Pour écouler cette production, les Américains font deux parts des objets manufacturés; l'une doit satisfaire à la demande intérieure du pays; elle y est vendue très cher. L'autre, destinée à l'exportation, est vendue au contraire très bon marché et vient faire concurrence aux produits européens. Des droits de douane prohibitifs s'opposent d'une manière presque absolue à l'importation.

M. West ayant ainsi exposé la situation, montre le danger qui en résulte pour l'ancien continent. Il ne conclut pas, mais, envisageant de préférence la situation de l'Allemagne, il trouve que rien n'est désespéré et qu'il suffit à son pays d'employer les mêmes procédés.

Déjà, dit-il, l'Allemagne n'est-elle pas, par son développement industriel, le pays d'Europe le plus Américain?

Instruction sur les paratonnerres, adoptée par l'Académie des Sciences.

Paris, Gauthier-Villars; 1904.

Dans ce Volume sont réunis les divers rapports et instructions rédigés depuis plus d'un siècle par les membres de l'Académie des Sciences, au sujet de l'installation et de l'entretien des paratonnerres. La lecture en est intéressante, car elle nous fait assister aux progrès successifs de la Science électrique. Les instructions successives, accompagnées de dessins d'exécution et de données de construction, ne se sont jamais contredites. Elles ont toujours eu pour objet d'ajouter aux précédentes des renseignements inédits ou d'examiner des cas d'espèce.

Les documents les plus anciens sont aussi les plus curieux à relire; ils permettent de comparer la Science officielle d'alors avec celle d'aujourd'hui et de suivre l'évolution des théories primitives dans le sens d'une précision de plus en plus grande.

L'accumulateur électrique et ses applications industrielles, par Lumar LYNDON, traduit de l'anglais par CH. de VAUBLANC, Paris, Ch. Béranger; 1904.

Publié peu après le traité de M. Jumau, ce Livre ne fait cependant pas double emploi avec lui. Il s'adresse surtout à l'ingénieur-praticien chargé de construire, d'installer et de conduire les batteries d'accumulateurs. L'Ouvrage de M. Lyndon est donc beaucoup moins théorique que celui de M. Jumau et il laisse de côté les théories osmotiques et thermodynamiques pour ne parler que de la théorie chimique.

L'auteur développe d'abord la théorie élémentaire de l'accumulateur au plomb et

traite successivement de l'électrolyte, de la capacité, de la résistance intérieure et des rendements, tant en quantité qu'en énergie. Viennent ensuite des renseignements détaillés sur les causes de détérioration des plaques, sur les remèdes préventifs et curatifs, sur la durée des électrodes et sur la conduite des batteries.

La première Partie se termine par la description des principaux types d'éléments à formation Planté et à oxydes rapportés.

La seconde Partie est réservée à l'étude de l'appareillage auxiliaire et aux applications; l'auteur s'étend sur la question des éléments de réduction des batteries, sur les réducteurs manœuvrés à la main ou automatiquement, sur les divers systèmes de survolteurs (shunt, série, compound, différentiel, à courant constant, à excitation séparée).

Dans chaque cas, des considérations expliquent à quel type de survolteur il faut avoir recours suivant les conditions du problème à résoudre.

Après avoir passé en revue les rhéostats, disjoncteurs et autres appareils accessoires des batteries, M. Lyndon compare les avantages et les inconvénients des divers systèmes de distribution à deux et plusieurs fils; il termine par un exemple d'utilisation d'une batterie dans le cas d'une installation isolée.

Cet Ouvrage ne s'occupe, comme on le voit, que de l'accumulateur au plomb. Le traducteur a été bien inspiré en ajoutant un Appendice qu'il a consacré à l'exposition des travaux publiés depuis peu sur l'accumulateur Edison.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

France.

- Conférence sur la Télégraphie sans fil*, faite par M. CHAUMAT au Congrès du Syndicat professionnel des Usines d'Électricité du 4 juin 1904. Lille, Imp. Lefebvre-Ducroq, 1904; 1 brochure in-8. (*Don de l'auteur.*)
- Cours élémentaire de Physique*, par Édouard BRANLY. 5^e édit. Paris, Veuve Ch. Poussielgue, 1905; 1 vol. in-8 broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Des récents progrès de l'éclairage électrique*, par M. ROBERTJOT. Paris, Typ. Philippe Renouard, 1904; 1 broch. in-8. (Extrait du *Bulletin de la Société d'Encouragement*, août 1904.) (*Don de l'auteur.*)
- Étude sur les distributions d'énergie électrique pour force motrice*, par L. SAINT-MARTIN, 2^e édit. revue et corrigée. Paris, J. Loubat et C^{ie}, 1904; 1 vol. in-8 broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Lampe (La) à incandescence. Lampes neuves et réparations*, par Léon GRINGER. Paris, J. Loubat et C^{ie}, 1900; 1 vol. in-8, broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Recueil de législation concernant la propriété industrielle et commerciale.* (Office national de la Propriété industrielle; Conservatoire national des Arts et Métiers.) Paris, E. Bernard, 1904; 1 vol. petit in-8, broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Résistance, inductance et capacité*, par J. ROBERT. Paris, Gauthier-Villars, 1905; 1 vol. in-8, broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Syndicat professionnel des industries électriques, instructions générales pour la fourniture et la réception des machines et transformateurs électriques.* Juillet 1904. Paris, Syndicat professionnel des Industries électriques, 1904; 1 brochure petit in-8. (*Don du Syndicat.*)
- Traction (La) électrique sur les chemins de fer à voie normale.* Conférence faite le 27 février 1902 à la Société des Ingénieurs et Architectes de Zurich, par E. HUBER. Paris, C. Naud, 1902; 1 brochure in-4. (*Don de la Société française OErlikon.*)

Étranger.

- An investigation of the double needle regulating nozzle.* Thesis by H.-C. CROWELL and G.-C.-D. LENTH. San-Francisco, Abner Doble and C^o, 1904; 1 brochure in-8. (*Don de l'Abner Doble C^o.*)
- Die ersten 25 Jahre des elektrotechnischen Vereins*, herausgegeben von Emil NAGLO. Berlin, H.-S. Hermann, 1904; 1 vol. in-8, cartonné. (*Don de l'Elektrotechnischer Verein.*)
- Neue Stromzuführungsanlage für elektrisch betriebene eisenbahnen System OERLIKON*, von Emil HUBER. Zurich, Albert Raustein, 1904; 1 vol. in-8, broché. (*Don de la Société française OERLIKON.*)
- The book of the four powers, briefly setting forth the scope of Allis-Chalmers manufactures.* Allis-Chalmers C^o, Chicago, 1904; 1 brochure in-4. (*Don de l'Allis-Chalmers C^o.*)
- The power of the New-York Subway.* Allis-Chalmers C^o, Milwaukee, 1904; 1 brochure in-4^o. (*Don de l'Allis-Chalmers C^o.*)



TABLE DES MATIÈRES

DES PÉRIODIQUES ÉTRANGERS.

(OCTOBRE 1903-MAI 1904.)

CLASSIFICATION DES MÉMOIRES ORIGINAUX PUBLIÉS DANS LE *BULLETIN*.

- I. — Lois physiques et phénomènes généraux.
- II. — Unités. Méthodes et appareils de mesure.
- III. — Accumulateurs. Piles. Electrochimie. Electrometallurgie.
- IV. — Matériel électrique pour courants continus.
- V. — Matériel électrique pour courants alternatifs.
- VI. — Canalisation. Appareillage.
- VII. — Stations centrales. Installations diverses. Systèmes de distribution.
- VIII. — Transmission de l'énergie. Traction.
- IX. — Éclairage et chauffage.
- X. — Machines. Applications électro-mécaniques.
- XI. — Télégraphie, Téléphonie. Signaux.
- XII. — Divers. Historique. Jurisprudence. Réglementation.

Abréviations.

EZ.	Elektrotechnische Zeitschrift.
eE.	English Electrician.
eER.	English Electrical Review.
ZE.	Zeitschrift für Elektrotechnik.
aEE.	American Electrical Engineer.
aER.	American Electrical Review.
aEW.	American Electrical World.
IEE.	Journal of the Institution of Electrical Engineers.
EMJ.	Engineering and Mining Journal.
FI.	Journal of the Franklin Institute.
aI.	Transactions of the American Institute of Electrical Engineers.
UW.	Bulletin of the University of Wisconsin.
SA.	Journal of the Society of Arts.
CA.	Centralblatt für Accumulatoren und Elementen Kunde.
ZEM.	Zeitschrift für Elektrotechnik und Maschinenbau.

I. — Lois physiques et phénomènes généraux.

- Calcul des Boosters; *W. Del Mar*, aEW, 9/4.
Calcul graphique du diagramme d'Osanna; *A. Thomalen*, EZ, 26/11.
Charge résiduelle d'un condensateur; *J. Cort*, aEW, 2/10.
Condensateur électrodynamique; *J. Seidener*, ZE, 22/11.
Conductibilité de la vapeur de mercure; *I. Cooper Hewitt*, eE, 8/1, aEW, 19/12.
Conductibilité du cuivre commercial; *L. Addicks*, aI. Novembre.
Courants parasites (Expériences sur les); *W. Thornton*, eE, 1/1, 8/1, 26/2.
Courants parasites (Pertes par); *F. Niethammer*, ZE, 24/1, 3/4.
Courbes de puissance (Détermination théorique des), *W. Berry*, aEW, 30/1.
Diagramme du travail d'un circuit électrique; *I. La Cour*, ZE, 1/11, 8/11, 15/11.
Electrostriction (Revue critique de l'); *L. Morel*, aEW, 16/1.
Forces thermoélectriques dans un fil; *F. Schneider*, EZ, 24/3.
Forme des courants (Indicateur cathodique de la), *H. Ryan*, aI. Octobre.
Ionisation de l'air; *J. Don*, eER, 15/4.
Pendule de Foucault électrique; *E. Adams*, aEW, 30/1.
Radioactifs (Éléments); *W. Marckwald*, EZ, 21/4.
Radioactivité; *F. Soddy*, eE, 23/10, 30/10, 6/11, 13/11, 20/11, 27/11, 4/12, 11/12, 18/12, 25/12, 1/1, 8/1, 15/1, 22/1, 29/1, 5/2, 19/2, 26/2.
Radioactivité de certains minéraux et de quelques eaux minérales; *R. Strutt*, eE, 1/4.
Résistances, self-inductions et capacités en parallèle; *E. Müllendorff*, ZE, 31/1.
Rupture des diélectriques (Loi de la); *C. Baer*, EZ, 7/1.

II. — Unités, méthodes et appareils de mesure.

- Alternateurs (Essais des grands); *W. Burnand*, aEW, 2/1, eE, 15/1.
Alternateurs à pleine charge (Essais d'); *W. Waters*, aEW, 28/11.
Alternateurs à pleine charge (Méthode d'essai pour grands); *B. Behrend*, aEW, 31/10, 14/11.
Ampèremètre enregistreur; *A. Armstrong*, aI. Octobre, novembre; aEW, 31/10.
Appareils à résonance Hartmann-Braun (Exactitude des); *R. Hartmann-Kempff*, EZ, 21/1.
Balance avec écran (Pont); *G. Campbell*, aEW, 2/4.
Brûleurs Auer (Essais de); aEW, 31/10.
Compteurs (Montage des); ZE, 3/1.
Compteurs pour réseaux triphasés à fil neutre (Montage des); *G. Stern*, EZ, 26/11.
Conductibilité (Appareil à lecture directe pour les mesures de); *W. Hoopes*, aEW, 14/11.
Conductibilité électrique (Mesure de la); *I. Rymer-Jones*, eER, 29/4.
Courants alternatifs (Sur l'emploi de condensateurs dans les mesures de); *W. Peukert*, EZ, 24/3.
Dynamos et des moteurs (Essais des); *C. Smith*, eER, 22/4, 29/4.
Dynamos (Essais calorimétriques des); *R. Threefall*, eE, 27/11.
Étalon légal de force électromotrice; *S. Carhardt*, eE, 11/3.
Fréquences élevées (Mesures des); *W. Salomonson*, eE, 13/11.
Facteur de forme (Mesure du); *P. Rose et A. Kühms*, EZ, 3/12.

- Génératrices (Essais des) par calorimétrie; *R. Threefall*, IEE, Janvier.
- Glissement (Nouvel appareil pour mesurer le); *A. Bianchi*, EZ, 24/12.
- Huiles (Nouvelle méthode d'essai des); *K. Wilkens*, EZ, 18/2.
- Instruments à lecture directe pour tableaux; *K. Edgecumbe* et *F. Punga*, eE, 25/3, 1/4, 8/4.
- Intensité (Mesure de l') par le voltamètre à cuivre; *J. Dickson*, aEW, 16/1.
- Irrégularité des machines (Procédé pour rendre visible l'); *P. Berkitz*, ZE, 17/4.
- Isolement des fils de trolley (Mesures d'); *H. Mörk*, EZ, 7 1, 14/1.
- Isolement des liquides (Mesure de l'); *P. Humann*, EZ, 31/12.
- Laboratoire d'essais de machines (Installation d'un); *R. Morcom*, eE, 4/3.
- Lampe Nernst (Essai photométrique sur la); aEW, 24/10.
- Méthode des deux wattmètres (Influence de la forme des courbes dans la); *L. Bloch*, EZ, 3/12.
- Moment d'inertie d'un induit (Détermination du); *B. Böhm-Raffay*, ZEM, 1/12.
- Moteur en dérivation (Étude du ralentissement naturel d'un) et méthode générale de détermination des moments d'inertie; *W. Neftel*, ZEM, 16/2.
- Ondes (Mesureur d') et son emploi; *I. Donitz*, EZ, 5/11.
- Ondographe et puissancegraphe; *E. Hospitalier*, IEE, Janvier.
- Oscillations électriques (Nouvelle méthode pour déceler les); *J. Ewing* et *L. Walter*, eE, 4/3.
- Oscillographe (Quelques emplois de l'); *D. Morris* et *K. Catterson-Smith*, eE, 19/2.
- Pertes distribuées sur les lignes de transmission (Mesure des); *F. Fowle*, aEW, 6/2.
- Phasemètre; *A. Grais*, EZ, 31/3.
- Potentiomètre (Nouveau); *W. Fisher*, eE, 15/1.
- Puissances polyphasées (Mesure des); *H. Jeannin*, aEW, 10/10.
- Turbine de 1250 kilowatts (Essais d'une); *A. Mattice*, aEW, 20/2.
- Unités magnétiques et autres sujets à soumettre au Congrès de Saint-Louis; *A. Ken- nely*, al. Octobre 1903.
- Voiture de mesures des tramways de Berlin; *E. Bjorkegren*, EZ, 28/1.
- Wattmètre (Choix d'un); *H. Davis*, aEW, 12/3.

III. — Accumulateurs. Piles. Electrochimie. Electrometallurgie.

- Accumulateur Edison; *W. Hilbert*, IEE, Janvier, eE, 27/11.
- Accumulateur (L') Jungner à l'Exposition d'automobiles de Paris; CA, 1/3.
- Batterie primaire (Nouvelle) pour forts courants; *C. Kammelsberg*, CA, 15/3.
- Batteries tampons avec ou sans survolteur (Comparaison entre le fonctionnement des); *L. Lyndon*, al. Novembre.
- Cuves électrolytiques pour hypochlorites (Deux nouvelles formes de); *J. Kershaw*, eER, 25/12.
- Décharges latérales des électrodes; *A. Dell*, aEW, 16/4.
- Dépôts galvaniques de zinc sur le fer; *O. Gabran*, EZ, 12/11.
- Électrochimie et de l'Électrometallurgie (Progrès de l'); *J. Kershaw*, ER, 5/2.
- Électrolyse (Applications de la théorie de l') à la séparation des métaux; *A. Holland*, eE, 11/3.
- Éléments normaux pour laboratoires techniques; *G. Rosset*, CA, 15/4, 16/5.
- Formation électrolytique du bioxyde de plomb; *F. Peters*, CA, 1/12, 15/12, 1/1, 15/1, 1/2, 15/2.

Formation électrolytique du peroxyde de plomb (Études sur la); *A. Kokotnitz*, CA, 1/11, 15/11.

Four électrique en acier de Gysinge (Suède); *F. Kyellin*, eE, 8/4.

Pile primaire (Expériences sur une nouvelle); *G. Bousfield*; eE, 15/4.

Production du fer et de l'acier au four électrique; *H. Goldschmidt*, eE, 20/11.

Survolteurs (Avantages des); *F. Brondbent*, eER, 26/2.

IV. — Matériel électrique pour courants continus.

Appareils de compensation (Améliorations aux); *R. Franke*, EZ, 26/11.

Balais mobiles dans l'huile; *M. Osnos*, ZE, 11/10.

Caractéristique (vitesse et couple); *W. Slichter*, al.

Calcul des dynamos (Quelques points pratiques pour le); *C. Poole*, FI. Novembre.

Calcul des machines électriques (Note sur le); *L. Hunt*, eE, 29/4.

Commutation (Sur la); *K. Pichelmayer*, ZE, 3/1.

Commutation (Théorie de la); *K. Pichelmayer*, EZ, 31/12.

Courants parasites (Expériences sur les); *W. Thornton*, eE, 1/1, 8/1, 26/2.

Courants parasites dans les dynamos; *M. Field*, eE, 5/2.

Courants parasites (Pertes par); *F. Niethammer*, ZE, 24/1, 3/4.

Dynamos (Bases pour la comparaison des); *W. Esson*, eE, 23/10.

Dynamos (Calcul des petites); *W. Burleigh*, eER, 8/4.

Dynamos (Construction des); *A. Fynn*, eER, 20/11, 27/11, 4/12, 25/12, 1/1, 8/1, 15/1, 22/1.

Dynamos Schumann (Nouvelles); ZEM, 16/12.

Égaliseurs de potentiel (Calcul des); *A. Müller*, ZE, 17/4, 24/4.

Enroulements à section variable; *H. Schlichting*, ZE, 1/11.

Machines électriques en 1903 (Construction des); *J. Löwy*, ZE, 21/2, 28/2, 10/4, 17/4.

Moteurs à courants continus à grande variation de vitesse; *A. Hemingway*, aEW, 2/10.

Moteurs à courant continu (Nouveaux procédés de réglage pour); *J. Löwy*, ZE, 20/12.

Moteurs à vitesse variable; *F. Punga*, eER, 22/4.

Moteurs à vitesse variable; *W. Burleigh*, eER, 25/3.

Pôles auxiliaires pour machines à courant continu; *F. Punga*, ZE, 24/1.

V. — Matériel électrique pour courants alternatifs.

Alternateur avec excitation directe par le courant alternatif (Nouvel); *A. Heyland*, EZ, 17/12.

Alternateurs (Bases théoriques de la prédétermination de la chute de tension des); *T. Thorda-Heymann*, eE, 22/4.

Alternateurs (Chute de voltage des); *H. Meyer*, eE, 19/2, 26/2, 4/3.

Alternateurs (Contribution à la théorie du réglage des); *H. Hobart* et *F. Punga*, al.

Alternateurs (Emploi du diagramme circulaire dans les); *J. Pujul*, ZE, 31/1, 7/2.

Alternateurs à champ tournant (Construction des); *D. Rushmore*, al.

Alternateurs à force électromotrice sinusoïdale; *C. Paterson*, eER, 22/1.

Alternateurs couplés (Oscillations des); *A. Sommerfeld*, EZ, 7/4, 14/4.

- Alternateurs en parallèle; *H. Bohlé*, eE, 4/3, 18/3, 8/4, 22/4.
- Amortisseurs dans la marche en parallèle (Rôle des); *E. Rosenberg*, EZ, 15/10.
- Ampères-tours équivalents pour courants simples ou polyphasés (Calcul des); *C. Guilbert*, aEW, 12/3, 19/3, 26/3.
- Changeurs de fréquence à Montréal; *B. Behrend*, aEW, 13/2.
- Commutatrices; *F. Baun*, aEW, 9/4.
- Commutatrices (Calcul graphique des lignes alimentant des); *A. Hruschka*, ZE, 11/10, 18/10.
- Commutatrices (Pulsation des); *R. Elsässer*, EZ, 3/3.
- Commutatrices (Recherches sur les pulsations du courant délivré par les); *E. Cramer*, EZ, 19/11.
- Courants purement sinusoïdaux (Production de); *R. Rüdenberg*, EZ, 31/3.
- Diagramme circulaire (Le) au delà du synchronisme; *P. Müller*, EZ, 3/3.
- Distorsion dans les champs alternatifs et tournants; *R. Goldschmidt*, eER, 8/4, 15/4.
- Élévation de température des moteurs (Conditions qui déterminent l'); *C. Hutchinson*, aI, Novembre.
- Encoches d'induit (Dimensions des); *A. Muller*, ZE, 29/11.
- Enroulements à section variable; *H. Schlichting*, ZE, 1/11.
- Forme du courant (Méthode pour photographier la); *C. Spencer*, aEW, 23/1.
- Générateurs asynchrones (Compoundage des); *A. Heyland*, EZ, 5/11.
- Générateur compound triphasé (Nouveau); *E. Kolben*, EZ, 8/10.
- Inductance apparente des bobines d'induit (Calcul de l'); *C. Hawkins*, aEW, 14/11, 21/11, 28/11, 5/12, 12/12.
- Machines électriques en 1903 (Construction des); *I. Löwy*, ZE, 21/2, 28/2, 10/4.
- Machines électriques (Notes sur le calcul des); *L. Hunt*, eE, 29/4.
- Marche en parallèle (Notes sur la théorie de la); *H. Leake*, eER, 13/11.
- Moteur à champ tournant (Simple calcul pour); *H. Hobart*, ZE, 13/3.
- Moteurs à commutateurs pour courants alternatifs; *M. Osnos*, EZ, 7/1.
- Moteurs alternatifs à collecteur et le réglage de leur vitesse; *F. Eichberg*, EZ, 28/1.
- Moteur à répulsion d'Atkinson (Théorie du); *M. Osnos*, ZE, 14/2, 21/2.
- Moteur à répulsion (Diagramme circulaire du); *F. Creedy*, eER, 5/2, 19/2.
- Moteur à répulsion (Diagramme circulaire du); *M. Osnos*, EZ, 29/10.
- Moteurs asynchrones (Démarrage et réglage des); *M. Osnos*, ZE, 18/10.
- Moteurs asynchrones (Égalisation de la charge des) pour travail intermittent; *H. Linsenmann*, EZ, 19/11.
- Moteurs à vitesse variable; *W. Burleigh*, eER, 25/3.
- Moteurs à vitesse variable; *F. Punga*, eER, 22/4.
- Moteur compensé en série (Diagramme pour); *M. Osnos*, EZ, 17/3.
- Moteurs d'induction (Choix de l'entrefer des); *H. Hobart*, aEW, 23/1.
- Moteurs d'induction (Choix des diamètres des rotors dans les); *H. Hobart*, EZ, 12/11.
- Moteurs d'induction (De la dispersion dans les) et de son influence sur leurs dimensions; *H. Behn-Eschenburg*, eE, 22/1, 12/2, 26/2, 11/3, 1/4.
- Moteurs d'induction (Dispersion magnétique dans les); son influence sur le calcul; *H. Behn-Eschenburg*, IEE, avril.
- Moteurs d'induction (Prédétermination de σ pour les); *H. Hobart*, EZ, 28/4.
- Moteurs générateurs et commutatrices; *H. Hobart*, eER, 16/10, 23/10.
- Moteurs monophasés; *G. Finzi*, eER, 6/11.

- Moteurs monophasés à collecteur; *I. Sumer*, ZE, 20/3, 3/4.
Moteur monophasé sans collecteur, démarrant sous charge; *M. Corsepius*, EZ, 10/12.
Moteur monophasé sans décalage; *M. Latour*, EZ, 22/10.
Moteur série à courant alternatif; *M. Osnos*, ZE, 27/12.
Moteur série compensé (Théorie du); *M. Osnos*, EZ, 12/11.
Moteurs (Influence de la vitesse des) sur le type à choisir; *H. Hobart*, eE, 11/3.
Montage en cascade (Diagramme du) au delà du synchronisme; *P. Müller*, EZ, 24/3.
Pertes d'énergie dans le fer des induits (Facteurs qui affectent les); *J. Esterline* et *C. Reed*, aI, Octobre.
Pertes par effet Joule dans les cages d'écureuil; *F. Punga*, ZE, 27/3.
Régulateur compensé de potentiel pour courant alternatif; *L. Fleischmann* et *F. Eichberg*, ZE, 10/1.
Transformateur électrostatique (Essai de construction d'un); *I. Yves*, aEW, 10/10.
Transformateurs (Prédétermination de la chute de tension des); *E. Reed*, aEW, 12/3.
Transformateurs (Principes élémentaires du calcul des); *T. Gray*, aEW, 23/4.
Transformateurs (Refroidissement des) par l'air et par l'huile; *G. Meyer*, ZE, 24/4.
Transformateurs (Rendement des) à potentiel constant; *A. Kennelly*, aEW, 16/4.

VI. — Canalisation. Appareillage.

- Bobines de réaction (Notes sur les); *F. Proctor*, eE, 8/4.
Câbles téléphoniques à isolement d'air (Fabrication des); *I. Schmielt*, ZE, 17/1.
Câbles téléphoniques sous-marins (Les nouveaux); *Breisig*, EZ, 17/3.
Canalisations (Progrès récents dans les); *L. Waterhouse*, eER, 1/4.
Capacité des conducteurs aériens et des câbles (Calcul de la); *L. Lichtenstein*, EZ, 11/1, 18/2.
Conducteurs de paratonnerre (Des tuyaux de descente comme); *F. Neesen*, EZ, 4/2.
Contacts (Prévention des) entre les lignes de transmission et les lignes téléphoniques; *H. Knowlton*, aEW, 23/4.
Décharges statiques dans les circuits; *P. Thomas*, FI, Novembre, décembre.
Induction dans les lignes triphasées (Calcul des effets d'); *L. Lichtenstein*, ZE, 24/4, 1/5.
Inflammabilité du caoutchouc des conducteurs souples; *J. Herzog* et *C. Feldmann*, EZ, 17/3.
Interrupteur à temps (Sur un); *H. Steidle*, EZ, 15/10.
Interrupteurs (Construction des); *N. Woodfin*, eER, 25/12.
Interrupteur d'urgence pour stations centrales; *W. Thornton*, eE, 15/1.
Interrupteurs à haute tension (Choix et installation d'); *L. Elden*, eE, 1/1.
Interrupteurs pour haute tension; *Vogelsang*, EZ, 28/4.
Isolateurs à haute tension (Constantes électriques des); *R. Friese*, EZ, 17/12.
Localisation des défauts dans l'âme des câbles; *H. Olson*, eER, 1/1.
Localisation des défauts dans les câbles sous-marins; *A. Davidson*, eER, 8/1.
Machine à faire les jonctions de conducteur; *S. Herzog*, ZEM, 1/11.
Mise à la terre des circuits à potentiel constant; *S. Hood*, aEW, 20/2.
Mise à la terre du fil neutre; *R. Hale*, aEW, 16/1.
Moyens automatiques de disconnecter des appareils hors de service; *H. Stott*, eE, 8/4.
Pertes dans les câbles à haute tension; *R. Apt* et *C. Mauritius*, EZ, 22/10.
Prise à terre; *W. Moon*, eER, 18/3, 25/3.

Protection contre la foudre et les hautes tensions; *H. Sargent*, *aEW*, 2/1.
Protection contre les décharges atmosphériques (Rapport sur la); *G. Benischke*, *EZ*, 7/4.
Regards pour canalisations souterraines (Construction des); *H. Baker*, *aEW*, 19/3.
Résistance en graphite (Nouvelle); *R. Hopfelt*, *EZ*, 8/10.
Rhéostats à liquide; *F. Niethammer*, *ZE*, 17/1.
Rhéostats de démarrage (Calcul des); *A. Ford*, *aEW*, 9/1.
Rhéostats de démarrage (Calcul des); *M. Freimark*, *aEW*, 12/3.
Rhéostats de démarrage (Calcul des); *F. Meurer* et *A. Simon*, *aEW*, 12/3.
Tableaux pour courants alternatifs; *S. Hayes*, *aEW*, 2/10, 10/10, 17/10, 24/10.
Transmission à longue portée (Une ligne de); *B. Wiley*, *aEW*, 16/4.

VII. — Stations centrales. Installations diverses. Systèmes de distribution.

Calcul rationnel des réseaux; *E. Müllendorff*, *EZ*, 14/4, 21/4.
Chargement mécanique des grilles; *A. Gray*, *eE*, 11/12.
Compoundage des systèmes à trois fils; *E. Rosenberg*, *ZE*, 1/5.
Compteur à double tarif (Nouveau); *E. Shoults*, *eER*, 1/1.
Couplage des dynamos à courant continu et des turbines à vapeur; *M. Zinner*, *ZE*, 29/11.
Courant continu pris sur un réseau alternatif; *K. Sterzel*, *EZ*, 8/10.
Distribution aérienne à haute tension dans les faubourgs; *G. Lukes*, *aEW*, 26/12.
Essais de Marienfeld-Zössen; *EZ*, 12/11.
Essais de Marienfeld-Zössen; *EZ*, 31/12.
Exploitation triphasée spécialement suivant le système de Dublin; *W. Brew*, *eE*, 22/1, 5/2, 12/2.
Installation de Kubel; *F. Collischonn*, *EZ*, 25/2, 3/3.
Installation mixte (Une) à Bloomsburg; *L. Levy*, *aEW*, 27/2.
Installations électriques des ateliers de Linz; *R. Dub* et *E. Suchy*, *EZ*, 4/2.
Installations électrogènes avec turbine à vapeur (Notes sur quelques); *C. Wilkinson*, *eE*, 23/10.
Machines à gaz; *E. Dowson*, *IEE*, avril.
Machines (Comparaison entre les) et les turbines à vapeur sous faible charge; *J. Seymour*, *aEW*, 2/4.
Modes de paiement de l'énergie électrique; *E. Crapper*, *eE*, 18/12.
Montréal; le plus grand centre de transmission; *A. Adams*, *aEW*, 26/12.
Pertes dans le cuivre et effet utile des génératrices mixtes; *F. Horschitz*, *EZ*, 14/1.
Projets de machine (Formules pour les); *A. Sengel*, *EZ*, 29/10.
Rendement d'une station centrale typique américaine avec réseau de 320^{km}; *F. Wetzel*, *ZE*, 11/10.
Stations allemandes avec moteurs à gaz; *aEW*, 19/12.
Station centrale (Détermination graphique de l'emplacement d'une); *S. Draissant*, *aEW*, 13/2.
Stations centrales (Consommation de charbon dans les); *A. Giles*, *eE*, 22/1.
Stations centrales (Économie dans les); *W. Goldsborough* et *P. Fansler*, *al.* Octobre.
Stations d'éclairage (Conduite des machines dans les); *F. Callis*, *eER*, 11/12, 18/12.
Station orientale de Copenhague; *C. Hentzen*, *EZ*, 29/10.

Systèmes à trois fils (Notes sur certains); *C. Mosman*, *aEW*, 31/10.
Systèmes triphasés (Distribution du courant dans les); *H. Jeannin*, *aEW*, 14/11.
Turbine à vapeur Brush Parsons; *W. Chilton*, *eE*, 26/2.
Turbine Curtis; *F. Samuelson*, *eER*, 4/3.
Turbine Riedler; *W. Rappaport*, *eER*, 4/3.
Turbodynamos; *F. Niethammer*, *ZE*, 7/2, 14/2.
Turbogénérateurs; *F. Niethammer*, *aEW*, 19/3, 26/3.
Usine Altbach Deizisau sur le Neckar; *J. Herzog*, *ZEM*, 2/1.
Usine hydro-électrique de Chateaugay; *aEW*, 21/11.
Utilisation des eaux de condensation; *G. Parkinson*, *eER*, 18/12.

VIII. — Transmission de l'énergie. Traction.

Chemins de fer électriques en Italie (Lcs); *P. Laveno*, *EZ*, 11/2.
Chemins de fer monophasés; *F. Eichberg*, *ZE*, 28/2, 6/3.
Chute de tension des courants alternatifs dans les rails; *H. Behn-Eschenburg*, *EZ*, 21/4.
City and South Railway (Résultats d'exploitation du); *eE*, 25/12.
City and South London Railway. Résultats d'exploitation du système à trois fils; *P. Mac Mahon*, *IEE*, avril.
Comment opérer, avec des locomotives électriques, la traction des trains deux fois plus lourds que les trains actuels; *N. Leonard*, *aEW*, 27/2.
Comparaison entre le courant continu et le courant alternatif pour la traction; *H. Hobart*, *eER*, 29/4.
Connections pour rails; *W. Harrington*, *FI*, décembre, janvier, février.
Contrôle des trains électriques (unités multiples); *F. Niethammer*, *ZE*, 6/12, 13/12.
Courant monophasé (Application du) à la traction; *B. Lamme*, *aEW*, 26/12.
Distribution de l'électricité dans les ateliers de construction; *A. Anderson*, *eE*, 19/2.
Fusion du verglas sur le troisième rail; *W. Del Mar*, *aEW*, 21/11.
Moteur alternatif pour chemins de fer; *C. Steinmetz*. — Discussion; *B. Lamme*, *A. Mac Allister*, *B. Arnold*, *S. Lincoln*, *R. Mershon*, *A. Armstrong*, *R. Dundell*, *O. Lyford*, *H. Wagner*, *C. Scott*, *B. Behrend*, *W. Franklin*, *Karopétoff*, *W. Blauck*, *C. Adans*, *al*.
Moteurs à courant alternatif pour traction; *L. Fenzi*, *eER*, 13/11.
Moteurs de tramways (Rendement en service des); *W. Müller*, *EZ*, 10/3.
Moteurs électriques pour chemins de fer; *J. Szaasz*, *ZE*, 22/11.
Moteur triphasé ou moteur en série pour la traction; *R. Schreiber*, *ZEM*, 2/1.
Navigation sur les canaux (L'électrotechnique dans la); *Karcis*, *ZE*, 13/3.
Prise de courant (Nouvelle) pour chemins de fer; *EZ*, 14/4.
Résistance à la traction sur route; *eE*, 23/10.
Résistance à la traction sur routes; Comité de la BA; *eEB*, 20/11, 11/12, 18/12.
Touage électrique sur le canal de Teltow; *EZ*, 31/12.
Traction électrique à grande vitesse (Problème concernant la); *A. Armstrong*, *eE*, 25/12.
Traction électrique sans rails (Exploitation de la); *M. Schiemann*, *EZ*, 10/12.
Traction électropneumatique (Système de) à courant alternatif; *B. Arnold*, *eE*, 5/2.
Traction interurbaine; *P. Lincoln*, *aEW*, 12/12.

- Traction par courants alternatifs; *A. Eborall*, *eE*, 18/12, 25/12, 1EE, avril.
Traction par courants monophasés avec réglage de la vitesse et récupération; *M. Latour*, *EZ*, 17/12.
Tramways (Chariot porte-bobines pour); *L. Harvey*, *eER*, 8/1.
Tramways de Manchester; *J.-Mc. Elroy*, *eE*, 29/4.
Tramways (Estimation des); *W. Bond*, *eE*, 29/1.
Tramways (Prise de terre protégée pour les); *A. Frey*, *EZ*, 17/3.
Transmission de l'Hudson river; *aEW*, 7/11.

IX. — Éclairage et chauffage.

- Lampes à arc continu (Maximum relatif de l'intensité dans les); *E. Richter*, *EZ*, 4/2.
Lampes à incandescence (Distribution de la lumière des); *W. Lancelot*, *eER*, 1/1.
Lampe à osmium (Rendement et couleur de la); *F. Baily*, *eE*, 12/2.
Lampe à osmium (Sur la); *L. Lombardi*, *EZ*, 21/1.
Lampe Nernst (Essais photométriques sur la); *aEW*, 24/10.
Température (Relation entre la) et l'émission lumineuse; *H. Fivler*, *EL*, 10/3.

X. — Machines. Applications électromécaniques.

- Appareils de sécurité pour machines d'extraction; *ZE*, 29/11.
Conduite électrique des machines-outils; *R. Lazier*, *aEW*, 7/11.
Dock flottant manœuvré électriquement; *T. Donelly*, *aEW*, 2/10.
Drague à alluvions aurifères (Équipement électrique d'une); *R. Montagu*, *al*, octobre.
Extraction à Witwoterst (Notes sur quelques questions d'); *A. Pierce*, *al*, octobre.
Fours à réverbère (Nouvelle machine pour la charge des); *W. Koppers*, *EZ*, 3/12.
Grues électriques (Nouvelles); *R. Kahn*, *ZE*, 20/3, 27/3.
Imprimerie du Gouvernement (Installations électriques de l'); *aEW*, 2/1, 9/1, 16/1.
Machines d'extraction; *M. Georgi*, *eE*, 18/3.
Monte-charge de la gare de Reichenberg; *W. Krejza*, *ZE*, 27/12.
Moteurs (Conduite électrique des); *F. Kleinhaus*, *aEW*, 12/12.
Moteurs pour pompes centrifuges et ventilateurs; *A. Bowie*, *al*, octobre.
Pendules électriques; *S. Herzog*, *ZEM*, 16/12.
Pompes des mines de Gneisenau, *aEW*, 7/11.
Système électropneumatique Arnold employé sur le chemin de fer Lansing-Saint-Louis; *B. Arnold*, *aEW*, 2/1.

XI. — Télégraphie. Téléphonie. Signaux.

- Bureaux centraux (Méthodes d'exploitation des); *K. Miller* et *C. Swinton*, *aEW*, 12/3, 26/3.
Bureaux téléphoniques (Méthodes de travail dans les); *K. Miller* et *C. Winston*, *aEW*, 5/12, 12/12, 2/1, 16/1.
Contrôle électrique des rondes; *J. Heitzinger*, *ZE*, 3/4.
Détecteur; *aEW*, 26/3.
Longueur d'onde dans les antennes et les circuits fermés; *I. Ives*, *aEW*, 6/2.
Microphone (Disposition pour assurer le fonctionnement régulier du); *Stosberg*, *EZ*, 4/2.
Radiotélégraphie (Système de) de Blockmann; *A. Collins*, *aEW*, 16/1.
Récepteurs téléphoniques (Leçons de choses sur les); *A. Abbott*, *aEW*, 2/10, 10/10, 17/10.

- Secret des correspondances téléphoniques (Montage pour assurer le); *I. Saltzer*, EZ, 22/10.
- Sous-station téléphonique; *A. Abbott*, aEW, 26/3, 2/4, 9/4.
- Télégraphe imprimeur Siemens et Halske; *A. Franke*, EZ, 28/4.
- Télégraphe imprimeur Stieljes; *Lindow*, EZ, 25/2.
- Télégraphie et téléphonie simultanées; *L. Hanthon*, aEW, 2/4.
- Télégraphie Fessenden (Nouveaux brevets de); *A. Collins*, aEW, 21/11.
- Télégraphie rapide Donald-Murray; *A. Krantz*, EZ, 28/4.
- Télégraphie sans fil (Brevets récents de); eE, 20/11.
- Télégraphie sans fil (Caractéristiques des systèmes de); *A. Prasch*, ZE, 18/10, 25/10.
- Télégraphie sans fil (De la sécurité relative de la) et de la télégraphie ordinaire; *R. Fessenden*, aEW, 14/11.
- Télégraphie sans fil (Inducteurs à résonance et leur emploi dans la); *G. Seibt*, EZ, 7/4.
- Télégraphie sans fil (Influence de la) sur les progrès de la télégraphie ordinaire; *J. Baker*, aEW, 2/1.
- Télégraphie sans fil (La règle de multiplication pour les mesures de longueur d'onde en); *A. Staby*, EZ, 10/12.
- Télégraphie sans fil (Nouveau détecteur pour), *W. Schlömilch*, EZ, 19/11.
- Télégraphie sans fil (Sur les transmetteurs pour); *L. de Forest*, eE, 27/11.
- Télégraphie sans fil (Système de Forest de); eE, 4/12.
- Télégraphie sans fil (Système Stone de); *L. Duncan*, aEW, 24/10.
- Téléphonie et télégraphie Hughes simultanées sur une ligne à deux fils; *H. Pfizner*, EZ, 17/12.
- Transmetteur (Méthodes pour augmenter l'énergie d'un); *F. Braun*, eE, 22/4.
- Transmetteurs téléphoniques; *A. Abbott*, aEW, 5/12, 26/12, 2/1, 9/1, 16/1, 27/2, 12/3.

XII. — Divers. Historique. Jurisprudence. Réglementation.

- Compteurs (Communication du Reichsanstalt : vérification des); EZ, 18/2, 28/4.
- Électricité à la campagne (L'); *G. Sattler*, ZEM, 16/12.
- Électrotechnique en Espagne (L'); *P. Blumenthal*, EZ, 5/11.
- Nécessité de se conformer aux règlements de l'Association allemande; *S. v. Gaisberg*, EZ, 25/2.
- Numéro d'anniversaire ne contenant que des articles historiques; aEW, 5/3.
- Premiers secours en cas d'accidents; *I. Mc Gowan*, eER, 9/10.
- Progrès de l'Électrotechnique; *M. Breslauer*, ZE, 25/10.
- Protection contre les décharges atmosphériques (Rapport sur la); *G. Benischke*, EZ, 7/4.
- Statistique des usines électriques d'Allemagne; EZ, 24/12.
- Statistiques relatives à l'industrie électrique; *W. Digby*, eE, 13/11, 20/11, 27/11.



TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME IV (2^e SÉRIE).

	Pages
Accumulateurs électriques (Les), par M. L. Juma. (<i>Bibl.</i>)	708
Aciers au nickel (Les applications des), par M. Ch. Guillaume. (<i>Bibl.</i>)	527
Allocution de M. Hospitalier, Président.	41
Allocution de M. Hospitalier, Président sortant	261
Allocution de M. Pollard, Président entrant.	262
Amortissement de l'emprunt.	52
Année électrique, électrothérapie et radiographique (I'), par M. le D ^r Foveau de Courmelles. (<i>Bibl.</i>)	355
Annuaire du Bureau des Longitudes pour l'an 1904. (<i>Bibl.</i>)	164
Appareils fluxographes (A propos de la Communication de M. Grassot et des), par MM. Blondel et Grassot.	703
Arc à courant alternatif (Recherches expérimentales sur l'), exécutées au Laboratoire Central d'Électricité, par M. F. Laporte.	121
Assemblée générale annuelle du 13 avril 1904.	213
A travers l'Électricité, par M. Georges Dary. (<i>Bibl.</i>)	528
Bibliographie 45, 165, 208, 248, 354, 459, 527, 706,	737
Bobine d'induction (Étude du primaire de la) au moyen de l'ondographe Hospitalier, par MM. Broca et Turchini.	235
Câbles sous-marins (Les), par M. A. Gay. (<i>Bibl.</i>)	354
Chemins de fer électriques (Les), par M. H. Maréchal. (<i>Bibl.</i>)	209
Choix d'une carrière industrielle (Du), par M. P. Blancarnaux. (<i>Bibl.</i>)	250
Comité d'administration (Rapport du)	217
Comité d'administration (Renouvellement partiel du) 170,	241
Commission des Comptes, rapport pour l'Exercice 1903, par M. Brunswick, rapporteur.	214
Commutation dans les dynamos à courant continu (Recherches sur la), par M. Ilievici	469
Conférences d'Électricité industrielle, par M. A. Beghin. (<i>Bibl.</i>)	166
Congrès de la Houille blanche, tenu du 7 au 13 septembre 1902 à Grenoble, Annecy et Chamonix. (<i>Bibl.</i>)	210
Contrôle des installations électriques au point de vue de la sécurité, par M. A. Monmerqué. (<i>Bibl.</i>)	209
Correspondance 42,	451
Couplage des alternateurs en parallèle (Expériences et nouvelles considérations sur le), par M. Boucherot.	495
Courant alternatif (Phénomènes fondamentaux des principales applications du),	

	Pages
par M. R. Swyngedauw. (<i>Bibl.</i>).....	248
Délibération relative à la concession de nouveaux terrains; acte de réalisation...	219
Densité (La) de courant et la tension les plus profitables pour la transmission de l'énergie, par M. Swyngedauw.....	417
Diagrammes et surfaces thermodynamiques, par J.-W. Gibbs. (<i>Bibl.</i>).....	210
Distribution par courants alternatifs, par M. W.-E. Goldsborough. (<i>Bibl.</i>).....	460
Dons..... 170, 214, 265, 358,	714
Dynamo à tension pratiquement constante et à vitesse variable applicable à l'éclairage électrique (Nouveau dispositif de), par M. Loppé.....	431
Éclairage, par M. L. Galine. (<i>Bibl.</i>).....	529
École (L') supérieure d'Électricité.....	539
Effet magnétique des corps électrisés en mouvement (Recherches sur l'), par M. N. Vasilescu Karpen. (<i>Bibl.</i>).....	463
Électricité agricole (L'), par M. E. Guarini. (<i>Bibl.</i>).....	251
Électricité dans l'industrie minière (Traité général de l'emploi de l'), par M. N. Lapostolest. (<i>Bibl.</i>).....	708
Électricité dans les Mines en Europe (L'), par M. Guarini. (<i>Bibl.</i>).....	164
Électricité et ses applications (L'), par A. Reboud. (<i>Bibl.</i>).....	354
Électrogoniomètre de MM. Grammont et Routin, par M. Chaumat.....	173
Électrotechnique appliquée, par M. A. Mauduit. (<i>Bibl.</i>).....	706
Électrothérapie dentaire, par M. le Dr Foveau de Courmeiles. (<i>Bibl.</i>).....	46
Elektronæther (Der) (l'éther-électron). Contribution à une nouvelle théorie de l'Électricité et de la Chimie, par R.-T. Burgi. (<i>Bibl.</i>).....	527
Enroulements des dynamos à courant continu (Traité élémentaire des), par M. F. Loppé. (<i>Bibl.</i>).....	707
Entreprises de distribution d'énergie électrique (Les), par M. Raymond Sée (<i>Bibl.</i>).....	527
Errata..... 120,	450
Essais des métaux. Théorie et pratique. par M. L. Gages. (<i>Bibl.</i>).....	250
Essais industriels des machines électriques et des groupes électrogènes, par M. F. Loppé. (<i>Bibl.</i>).....	462
Fluxmètre et Hystérésigraphe, par M. Grassot.....	523
Hystérésis (Influence de l') sur le couplage des alternateurs en parallèle, par M. Boucherot.....	653
Informations.....	42
Instruction sur le montage des installations électriques jusqu'à 600 volts. (<i>Bibl.</i>).....	709
Intégrateurs photométriques, mésophotomètres et lumenmètres (Les), par M. Blondel.....	659
Laboratoire Central de l'École supérieure d'Électricité (Le).....	539
Leçons d'Électricité industrielle, par M. J. Pionchon. (<i>Bibl.</i>).....	208
Leçons d'Électrotechnique générale professées à l'École supérieure d'Électricité, par M. P. Janet. (<i>Bibl.</i>).....	211
Leçons sur l'Électricité, par M. Eric Gérard. (<i>Bibl.</i>).....	459
Législation des chutes d'eau, par M. P. Bougault. (<i>Bibl.</i>).....	208
Machine dynamo à courant continu (La), par M. E. Arnold. (<i>Bibl.</i>).....	461
Maladies des machines électriques (Les), par M. Ernst Schulz. (<i>Bibl.</i>).....	706

	Pages
Manipulations et études électrotechniques, par M. L. Barbillion. (<i>Bibl.</i>).....	462
Manuel pratique du monteur électricien, par M. J. Laffargue. (<i>Bibl.</i>).....	250
Membres décédés	52, 170, 466, 646, 714
Id. titulaires (Admission de)	6, 50, 170, 214, 265, 358, 466, 646, 714
Mesures physicochimiques (Manuel pratique des), par MM. Ostwald et R. Luther. (<i>Bibl.</i>).....	707
Moteurs à courants alternatifs à vitesse variable sans altération du rendement, par M. Latour (Marius).....	63
Moteurs à courants alternatifs à vitesse variable sans altération de rendement (Discussion sur les), par M. Boucherot.....	71
Moteurs à courant continu (Procédés de réglage de la vitesse des), par M. Brunswick.....	53
Moteurs à courant continu (Procédés de réglage de la vitesse des). Discussion par MM. Boucherot et Brunswick.....	71
Nomenclature électrique (Sur la), par M. E. Hospitalier.....	193
Nomenclature électrique (Discussion sur la), par MM. Lauriol, Boucherot, Brylinski, Tripiet, R. Arnoux, P. Janet et E. Hospitalier	223
Nomenclature électrique (Discussion sur la) (<i>suite</i>), par M. Blondel.....	347
Notations adoptées dans le <i>Bulletin</i> (Avis relatifs aux).....	169
Oscillations électriques et surélévations de tension correspondantes, par M. R.-V. Picou.....	267
Oscillations électriques et surélévations de tension correspondantes (Discussion sur les), par MM. Brylinski, A. Potier, Boucherot et Blondel	290
Oscillations électriques et surtensions dans les canalisations (Suite de la discussion sur les), MM. de Marchena, Brylinski, Guéry, Potier et R.-V. Picou.....	359
Ouvrages offerts (Liste des).....	47, 168, 212, 252, 356, 464, 534, 710, 740
Paiement des salaires (Méthodes modernes de), par M. J. Isard. (<i>Bibl.</i>).....	532
Périodiques étrangers	43, 203, 455
Photomètre (Le) à papillotement et la photométrie hétérochrome. par M. Lauriol.	647
Photométrie hétérochrome au moyen de photomètres à scintillation (Remarques sur la), par M. Blondel.....	697
Physikalischen Grössen (Die für Technik und Praxis wichtigsten) in systematischer Darstellung sowie Die algebraische Bezeichnung der Grössen physikalische Masssysteme. (<i>Bibl.</i>)	167
Propagation de l'Électricité. Histoire et théorie, par M. Marcel Brillouin. (<i>Bibl.</i>).....	45
Radioactives (Recherches sur les substances), par M ^{me} S. Curie. (<i>Bibl.</i>).....	248
Radium (Le) et ses propriétés, les phénomènes radioactifs, par M. Jean Escard. (<i>Bibl.</i>).....	530
Rayons N, par M. R. Blondlot. (<i>Bibl.</i>).....	533
Recueil d'expériences élémentaires de Physique, par M. Abraham. (<i>Bibl.</i>).....	249
Régulateur électrique, par M. Gin.....	78
Régulateur électrique (Discussion sur le), par M. Bochet	119
Résistance des matériaux, par M. M. Duquesnay. (<i>Bibl.</i>).....	45
Résonances dans les réseaux de distribution par courants alternatifs (Étude sur les), par M. G. Chevrier. (<i>Bibl.</i>).....	532
Réunions ordinaires mensuelles du 6 janvier 1904.....	5
Id. Id. 3 février 1904.....	49

	Pages
Réunions ordinaires mensuelles du 2 mars 1904.....	169
Id. Id. 13 avril 1904.....	213
Id. Id. 4 mai 1904.....	261
Id. Id. 1 ^{er} juin 1904.....	357
Id. Id. 6 juillet 1904.....	465
Id. Id. 9 novembre 1904.....	645
Id. Id. 7 décembre 1904.....	714
Röntgenstrahlen (Die Einrichtungen zur Erzeugung der), par M. le Dr B. Donath. (<i>Bibl.</i>)	166
Séparation (La) électrostatique et électromagnétique des minerais, par M. D. Korda.....	9
Situation financière et bilan	245
Télécommunication électrique (télégraphie-téléphonie) (Traité pratique de), par M. E. Estaunié. (<i>Bibl.</i>).....	165
Télégraphie sans fil (La), par M. André Broca. (<i>Bibl.</i>).....	529
Télégraphie sans fil; l'œuvre de Marconi (La), par M. E. Guarini. (<i>Bibl.</i>).....	164
Théorie de Maxwell et les oscillations hertziennes. La télégraphie sans fil (La), par M. H. Poincaré. (<i>Bibl.</i>)	531
Traction électrique (Traité pratique de), par MM. L. Barbillion et G.-J. Griffisch. (<i>Bibl.</i>)	166
Transport et distribution de l'énergie par courants continus et alternatifs. Descrip- tion du matériel. Calcul des lignes aériennes, par M. Charles Gruet. (<i>Bibl.</i>).....	167
Utilisation des chutes d'eau pour la production de l'énergie électrique, par M. Paul-Lévy Salvador. (<i>Bibl.</i>).....	528
Utilisation pratique et complète d'une chute d'eau pour tous les services d'une installation minière, par M. Lecomte-Denis. (<i>Bibl.</i>).....	251
Viscosité magnétique (Recherches effectuées au Laboratoire Central d'Électricité sur les phénomènes de) et sur leur influence dans les méthodes de mesure, par M. R. Jouaust.....	715



TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS

CITÉS DANS LE TOME IV (2^e SÉRIE).

	Pages
ABRAHAM (Henri). — Recueil d'expériences élémentaires de Physique. (<i>Bibl.</i>)..	249
ARNOLD (E.). — La machine dynamo à courant continu. (<i>Bibl.</i>).....	461
ARNOUX. — Discussion sur la nomenclature électrique.....	230
BARBILLION (L.). — Manipulations et études électrotechniques. (<i>Bibl.</i>).....	462
BARBILLION (L.) et GRIFFISCH (C.-J.). — Traité pratique de traction électrique. (<i>Bibl.</i>).....	166
BEGHIN (A.). — Conférences d'électricité industrielle. (<i>Bibl.</i>).....	166
BLANCARNAUX (Paul). — Du choix d'une carrière industrielle (<i>Bibl.</i>).....	250
BLONDEL (A.). — Discussion sur la nomenclature électrique (<i>suite</i>).....	347
BLONDEL. — Discussion sur les oscillations électriques et surtensions correspon- dantes.....	345
BLONDEL (A.). — Les intégrateurs photométriques, mésophotomètres et lumen- mètres.....	659
BLONDEL (A.). — Remarques sur la photométrie hétérochrome au moyen de pho- tomètres à scintillation.....	697
BLONDEL (A.) et GRASSOT. — A propos de la communication de M. Grassot et des appareils fluxographes.....	703
BLONDLOT (R.). — Rayons N. (<i>Bibl.</i>).....	533
BOCHET. — Discussion sur le régulateur électrique.....	119
BOUCHEROT. — Discussion sur les moteurs à courants alternatifs à vitesse va- riable sans altération du rendement.....	71
BOUCHEROT. — Discussion sur la nomenclature électrique.....	224
BOUCHEROT. — Discussion sur les procédés de réglage de la vitesse des moteurs à courant continu.....	71
BOUCHEROT. — Discussion sur les oscillations électriques et surtensions cor- respondantes.....	339
BOUCHEROT. — Expériences et nouvelles considérations sur le couplage des alternateurs en parallèle.....	495
BOUCHEROT. — Influence de l'hystérésis sur le couplage des alternateurs en parallèle.....	653
BOUGAULT (J.). — Législation des chutes d'eau. (<i>Bibl.</i>).....	208
BROCA (A.) et TURCHINI. — Étude du primaire de la bobine d'induction au moyen de l'ondographe Hospitalier.....	235
BROCA (André). — La télégraphie sans fil. (<i>Bibl.</i>).....	529

	Pages
BRILLOUIN (M.). — Propagation de l'Électricité. Histoire et théorie. (<i>Bibl.</i>)....	45
BRUNSWICK. — Rapport de la Commission des Comptes pour l'Exercice 1903....	214
BRUNSWICK. — Procédés de réglage de la vitesse des moteurs à courant continu.....	53, 77
BRYLINSKI. — Discussion sur la nomenclature électrique	226
BRYLINSKI. — Discussion sur les oscillations électriques et surtensions correspondantes	290, 384
BURGI (R.-T.). — Der Elektonaether (l'éther-électron). Contribution à une nouvelle théorie de l'Électricité et de la Chimie. (<i>Bibl.</i>).....	527
CHAUMAT. — Électrogoniomètre de MM. Grammont et Routin.....	173
CHEVRIER (G.). — Étude sur les résonances dans les réseaux de distribution par courants alternatifs. (<i>Bibl.</i>).....	532
CURIE (M ^{me} S.). — Recherches sur les substances radioactives. (<i>Bibl.</i>).....	248
DARY (Georges). — A travers l'Électricité. (<i>Bibl.</i>).....	528
DONATH (B. Dr). — Die Einrichtungen zur Erzeugung der Röntgenstrahlen. (<i>Bibl.</i>).....	166
DUQUESNAY (M.). — Résistance des matériaux. (<i>Bibl.</i>).....	45
ESCARD (J.). — Le radium et ses propriétés, les phénomènes radioactifs. (<i>Bibl.</i>)	530
ESTAUNIÉ. — Traité pratique de télécommunication électrique (télégraphie-téléphonie). (<i>Bibl.</i>).....	165
FOVEAU DE COURMELLES (Dr). — L'année électrique, électrothérapique et radiographique. (<i>Bibl.</i>).....	355
FOVEAU DE COURMELLES (Dr). — Électrothérapie dentaire. (<i>Bibl.</i>).....	46
GAGES (L.). — Essais des métaux. Théorie et pratique. (<i>Bibl.</i>).....	250
GALINE (L.) et SAINT-PAUL (B.). — Éclairage. (<i>Bibl.</i>).....	529
GAY (A.). — Les câbles sous-marins. Travaux en mer, 7 ^e édition. (<i>Bibl.</i>) . . .	354
GÉRARD (Éric). — Leçons sur l'Électricité. (<i>Bibl.</i>).....	459
GIBBS (J.-W.). — Diagrammes et surfaces thermodynamiques. (<i>Bibl.</i>).....	210
GIN. — Régulateur électrique....	78
GOLDSBOROUGH (W.-E.). — Distribution par courants alternatifs. (<i>Bibl.</i>).....	460
GRASSOT. — Fluxmètre et Hystérésigraphe.....	523
GRIFFISCH (G.-J.) et BARBILLION (L.). — Traité pratique de Traction électrique. (<i>Bibl.</i>).....	166
GRUET (C.). — Transport et distribution de l'énergie par courants continus et alternatifs. Description du matériel. Calcul des lignes aériennes. (<i>Bibl.</i>) ...	167
GUARINI (E.). — La télégraphie sans fil; l'œuvre de Marconi. (<i>Bibl.</i>).....	164
GUARINI (E.). — L'Électricité agricole. (<i>Bibl.</i>).....	251
GUARINI (E.). — L'Électricité dans les mines en Europe. (<i>Bibl.</i>).....	164
GUÉRY. — Discussion sur les oscillations électriques et les surtensions correspondantes.....	406
GUILLAUME (Ch.-Ed.). — Les applications des aciers au nickel, avec un Appendice sur la Théorie des aciers au nickel. (<i>Bibl.</i>).....	527
HOSPITALIER (E.). — Allocutions.....	41 et 261
HOSPITALIER (E.). — Sur la nomenclature électrique.....	193, 232
ILIOVICI. — Recherches sur la commutation dans les dynamos à courant continu.	469
ISARD (J.). — Méthodes modernes de payement des salaires. (<i>Bibl.</i>).....	532
JANET (P.). — Discussion sur la nomenclature électrique.....	232

	Pages
JANET (P.). — Leçons d'Électrotechnique générale professées à l'École Supérieure d'Électricité. (<i>Bibl.</i>).....	211
JOUAUST (R.). — Recherches effectuées au Laboratoire Central d'Électricité sur les phénomènes de viscosité magnétique et leur influence dans les méthodes de mesure.....	715
JUMAU (L.). — Les accumulateurs électriques. Théorie et technique. (<i>Bibl.</i>)...	708
KORDA (D.). — Correspondance.....	42
KORDA (D.). — La séparation électrostatique et électromagnétique des minerais.	9
LAFFARGUE (J.). — Manuel pratique du monteur électricien. (<i>Bibl.</i>).....	250
LAPORTE (F.). — Recherches expérimentales sur l'arc à courant alternatif, exécutées au Laboratoire Central d'Électricité.....	121
LAPOSTOLEST (N.). — Traité général de l'emploi de l'Électricité dans l'industrie minière. (<i>Bibl.</i>).....	708
LATOUR (Marius). — Moteurs à courants alternatifs à vitesse variable sans altération du rendement.....	63
LAURIOL. — Discussion sur la nomenclature électrique.....	223
LAURIOL. — Le photomètre à papillotement et la photométrie hétérochrome...	647
LECOMTE-DENIS. — Utilisation pratique et complète d'une chute d'eau pour tous les services d'une installation minière. (<i>Bibl.</i>).....	251
LINDERS (Olof). — Die für Technik und Praxis wichtigsten physikalischen Grössen in systematischer Darstellung sowie Die algebraische Bezeichnung der Grössen physikalische Mass systeme. (<i>Bibl.</i>).....	167
LOPPÉ (F.). — Essais industriels des machines électriques et des groupes électrogènes. (<i>Bibl.</i>).....	462
LOPPÉ. — Nouveau dispositif de dynamo à tension pratiquement constante et à vitesse variable applicable à l'éclairage électrique.....	431
LOPPÉ (F.). — Traité élémentaire des enroulements des dynamos à courant continu. (<i>Bibl.</i>).....	707
LUTHER (H.) et OSTWALD. — Manuel pratique des mesures physico-chimiques. (<i>Bibl.</i>).....	707
MARCHENA (DE). — Suite de la discussion sur les surtensions dans les canalisations électriques.....	359
MARÉCHAL (H.). — Les chemins de fer électriques. (<i>Bibl.</i>).....	209
MAUDUIT (A.). — Électrotechnique appliquée. (<i>Bibl.</i>).....	706
MONMERQUÉ (A.). — Contrôle des installations électriques au point de vue de la sécurité. (<i>Bibl.</i>).....	209
OSTWALD et LUTHER (R.). — Manuel pratique des mesures physico-chimiques. (<i>Bibl.</i>).....	707
PICOU (R.-W.). — Oscillations électriques et surélévations de tension correspondantes.....	267, 414
PIONCHON (J.). — Leçons d'Électricité industrielle. (<i>Bibl.</i>).....	208
POINCARÉ (H.). — La théorie de Maxwell et les oscillations hertziennes. La télégraphie sans fil. (<i>Bibl.</i>).....	531
POLLARD. — Allocution.....	262
POTIER. — Discussion sur les oscillations électriques et les surtensions correspondantes.....	323, 408
REBOUD (A.). — L'Électricité et ses applications. Deuxième partie. (<i>Bibl.</i>)....	354

SAINT-PAUL (B.) et GALINE (L.) — Éclairage. (<i>Bibl.</i>).....	Pages 529
SALVADOR (Paul-Lévy) . — Utilisation des chutes d'eau pour la production de l'énergie électrique. (<i>Bibl.</i>).....	528
SCHULZ (Ernst) . — Les maladies des machines électriques. (<i>Bibl.</i>).....	706
SÉE (Raymond) . — Les entreprises de distribution d'énergie électrique. (<i>Bibl.</i>).....	527
SWYNGEDAuw . — La densité de courant et la tension les plus profitables pour la transmission de l'énergie.....	417
SWYNGEDAuw (R.) . — Phénomènes fondamentaux des principales applications du courant alternatif. (<i>Bibl.</i>).....	248
TRIPIER (H.) . — Discussion sur la nomenclature électrique.....	226
VASILESCO-KARPEN (N.) . — Recherches sur l'effet magnétique des corps électrisés en mouvement. (<i>Bibl.</i>).....	463



ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE,
Fondée par M.-C. LECHALAS, Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite.

INDUSTRIES

DU

SULFATE D'ALUMINIUM, DES ALUNS, ET DES SULFATES DE FER,

Par **Lucien GESCHWIND**,
Ingénieur-Chimiste.

Étude théorique de l'aluminium, du fer et de leurs composés. — Fabrication du sulfate d'aluminium, des aluns et des sulfates de fer. — Applications industrielles des sulfates d'aluminium et de fer. — Caractères analytiques du fer et de l'aluminium. — Dosage. — Méthode d'analyse.

UN BEAU VOLUME GRAND IN-8, DE VIII-364 PAGES, AVEC 195 FIGURES; 1899 10 FR.

Les nombreuses applications des sulfates d'aluminium et de fer à presque toutes les branches de l'Industrie ont engagé l'Auteur, aidé de ses propres recherches, à réunir les données éparses sur la fabrication de ces corps en un tout aussi complet que possible.

La littérature chimique française se rapportant à la fabrication du sulfate d'aluminium, des aluns, des sulfates ferreux et ferriques, est d'ailleurs très incomplète. D'autre part, si, dans de nombreuses revues et publications, il a paru des articles touchant à certains points importants de cette industrie, il n'a point été donné de description vraiment complète et à jour des principales branches.

Ces considérations, et d'autres encore, ont engagé l'Auteur à traiter la question et à donner une monographie aussi complète que possible des procédés de fabrication usités pour ces divers produits.

Cet Ouvrage est divisé en quatre Parties :

1^o Une étude théorique du fer, de l'aluminium et de leurs composés;

2^o Une étude industrielle de la fabrication des sulfates d'aluminium et de fer, où sont décrits les divers modes de préparation du sulfate d'aluminium et sa purification, les nombreuses méthodes d'obtention des divers aluns; les industries mixtes de l'alunite, des schistes, des lignites pyriteux; la préparation du sulfate ferreux, celle du sulfate ferrique normal, l'industrie des sulfates ferriques basiques et en particulier celle du mordant de Rouil.

Chaque fois que cela a été possible, et pour bien montrer l'état économique actuel des industries décrites, on a donné les prix de revient du produit fabriqué, la décomposition de ces prix et le compte général de fabrication.

Chaque fois qu'il l'a pu, et lorsque ses recherches personnelles l'y autorisaient, l'Auteur a traité des perfectionnements à apporter, considérant qu'en industrie c'est la première condition de vitalité.

3^o Une étude industrielle des applications des sulfates d'aluminium et de fer, dans laquelle, sans se contenter d'une énumération aride et sèche de ces applications, très nombreuses et très intéressantes, l'Auteur a tenu à les décrire pour éviter au lecteur des recherches fastidieuses.

4^o Une étude analytique des composés du fer et de l'aluminium, dans laquelle sont donnés, non seulement les caractères généraux des sels de ces métaux et les méthodes de dosages les plus usitées, mais aussi des exemples d'analyses de produits naturels ou industriels, tels que bauxite, sulfate d'alumine, alumine hydratée, etc.

Cet Ouvrage a été écrit plus particulièrement pour les fabricants de produits chimiques, les ingénieurs-chimistes, les contremaîtres et chefs de fabrication des diverses industries chimiques produisant ou utilisant l'alun, le sulfate d'aluminium, les sulfates de fer, etc., et pour toute personne s'occupant de l'une de ces nombreuses industries.

Extrait de la Table des Matières.

I^{re} PARTIE. Étude théorique de l'aluminium, du fer et de leurs composés. — CHAP. I. Aluminium et ses composés. Aluminium Composés de l'aluminium. Minéraux de l'aluminium. — CHAP. II. Fer et ses composés. Fers. Composés du fer. Minéraux du fer.

II^e PARTIE. Fabrication des sulfates d'aluminium et des aluns. — CHAP. III. Fabrication du sulfate d'aluminium. Fabrication de l'alun. — CHAP. IV. Fabrication des sulfates de fer. Fabrication du sulfate ferreux. Fabrication mixte du sulfate ferreux et des aluns. Traitement des schistes. Traitement des lignites pyriteux. Fabrication du sulfate ferrique ordinaire. Fabrication du sulfate ferrique basique. Industrie du mordant de Rouil.

III^e PARTIE. Applications des sulfates d'aluminium et de fer. — CHAP. V. Usages et emplois du sulfate d'aluminium et des aluns. Applications aux arts de la teinture. Applications à la fabrication des couleurs. Applications diverses des sulfates d'aluminium. — CHAP. VI. Usages et emplois du sulfate ferreux et des sulfates ferriques. Usage du sulfate ferreux. Applications des sulfates ferriques. Applications des mélanges des sulfates de fer et d'aluminium.

IV^e PARTIE. Caractères analytiques du fer et de l'aluminium. Analyse de quelques produits alumineux ou ferrugineux. — CHAP. VII. Aluminium. Caractères analytiques des sels d'aluminium. Analyse de quelques produits alumineux. — CHAP. VIII. Fer. Caractères analytiques des sels de fer. Analyse de quelques produits ferrugineux.

PARIS 1900 : GRAND PRIX



Téléphone 503.71-503.73.

GEOFFROY & DELORE

28, rue des Chasses, à Clichy (Seine).

CABLES ISOLÉS AU CAOUTCHOUC
CANALISATIONS POUR COURANT ÉLECTRIQUE
CONTINU, ALTERNATIF, TRIPHASÉ POUR TENSIONS
DE 10 000 VOLTS ET AU-DESSUS.

ACCUMULATEURS "OMÉGA"

COMPAGNIE FRANÇAISE POUR L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS

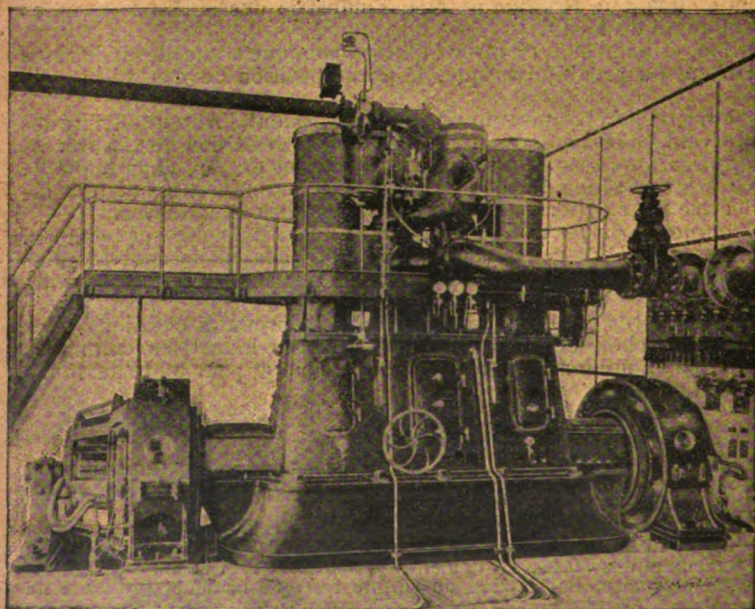
THOMSON-HOUSTON

Téléphone : Capital : 40 millions de francs. Adresse Télégraphique :
158.41 — 158.84 PARIS. — 10, rue de Londres, 10. — PARIS. ELIHU, PARIS

TRACTION ÉLECTRIQUE — ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE
TRANSPORT DE FORCE — APPAREILS DE MINES

Ateliers de Construction : 41, rue des Volontaires, PARIS

MACHINES BELLEVILLE A GRANDE VITESSE
AVEC GRAISSAGE CONTINU A HAUTE PRESSION
PAR POMPE OSCILLANTE SANS CLAPETS
Brevet d'invention S. G. D. G. du 14 Janvier 1897.



Machine à triple expansion, de 500 chevaux, actionnant directement deux dynamos.

ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE : BELLEVILLE, Saint-Denis-sur-Seine.

Les installations réalisées jusqu'à ce jour comportent plus de 400 Machines à grande vitesse et près de 3.000 Machines à vapeur diverses.

TYPES
DE 10 à 5000 CHEVAUX

*Étude gratuite des projets
et devis d'installation.*

SOCIÉTÉ ANONYME
DES ÉTABLISSEMENTS

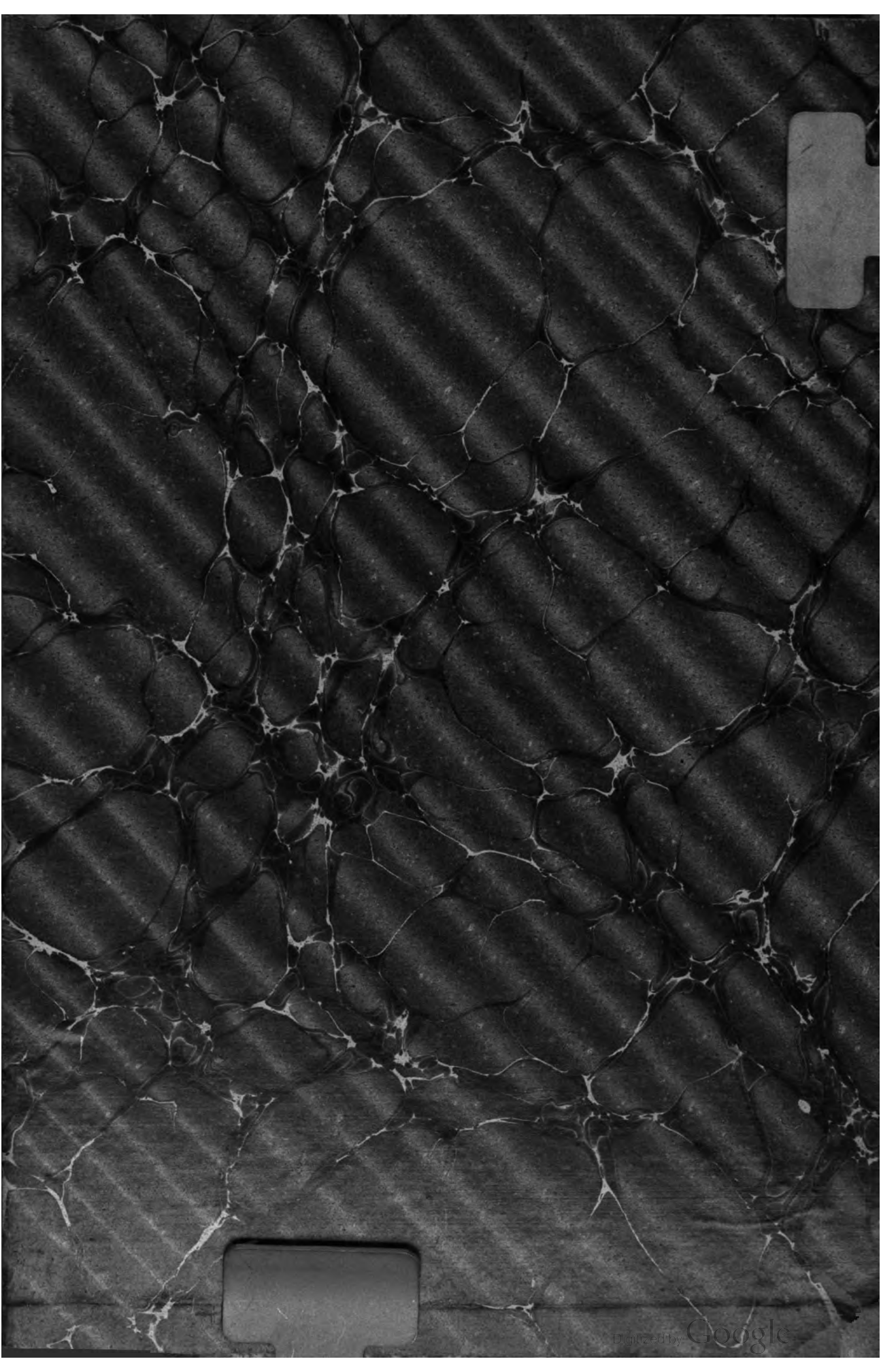
Delaunay Belleville

Capital : six millions de francs

Ateliers et Chantiers
de l'Ermitage,

A SAINT-DENIS (SEINE).





Widener Library



3 2044 082 518 382

HD